



**GABRIEL EDSON SOUSA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DE MODELOS NÃO LINEARES NA DESCRIÇÃO  
DO ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES EM PLANTAS DE  
CHICÓRIA**

**LAVRAS – MG**

**2022**

**GABRIEL EDSON SOUSA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DE MODELOS NÃO LINEARES NA DESCRIÇÃO DO ACÚMULO DE  
MACRONUTRIENTES EM PLANTAS DE CHICÓRIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Joel Augusto Muniz  
Orientador

Dr. Edilson Marcelino Silva  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2022**

**Ficha Catalográfica preparada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Silva, Gabriel Edson Sousa da

Avaliação de modelos não lineares na descrição do acúmulo de macronutrientes em plantas de chicória / Gabriel Edson Sousa da Silva. – Lavras : UFLA, 2022.

57 p. : il.

Dissertação(Mestrado acadêmico)–Universidade Federal de Lavras, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Joel Augusto Muniz.

Bibliografia.

1. Modelo Logístico. 2. Modelo Gompertz. 3. Hortaliças.  
I. Muniz, Joel Augusto. II. Silva, Edilson Marcelino. III.  
Título.


**GABRIEL EDSON SOUSA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DE MODELOS NÃO LINEARES NA DESCRIÇÃO DO ACÚMULO DE  
MACRONUTRIENTES EM PLANTAS DE CHICÓRIA  
EVALUATION OF NONLINEAR MODELS IN THE DESCRIPTION OF  
MACRONUTRIENT ACCUMULATION IN CHICORY PLANTS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 30 de Agosto de 2022.

Prof. Dr. Tales Jesus Fernandes UFLA  
Prof. Dr. Sílvio de Castro Silveira FEOL



Prof. Dr. Joel Augusto Muniz  
Orientador

Dr. Edilson Marcelino Silva  
Co-Orientador

**LAVRAS – MG  
2022**

*Dedico esta conquista à Deus, à minha família e aos professores e amigos que caminharam  
comigo.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pois sem ELE não teria chegado até aqui.

Agradeço à minha mãe Aurineide Cintia da Silva Sousa, à minha avó Aurea Maria da Silva Sousa e minha querida bisavó Teresinha de Jesus Silva, por todo o apoio que sempre me proporcionaram.

Agradeço à minha esposa, Laisy Lima Silva de Sá, pois estive ao meu lado em todo o tempo durante essa fase, me apoiando e me guiando.

Ao meu orientar, Prof. Dr. Joel Augusto Muniz, por todo o aprendizado a mim proporcionado, pela dedicação e pela paciência.

Ao meu coorientador, Dr. Edilson Marcelino da Silva, pelo aprendizado, dedicação e paciência.

Aos demais membros da banca, Prof. Dr. Tales Jesus Fernandes e Prof. Dr. Sílvio de Castro Silveira, pelas colaborações na elaboração deste trabalho.

Ao núcleo de estudos em regressão não linear (NLIN), pelos ensinamentos adquiridos em cada uma das reuniões.

Ao Leonardo de Almeida Nascimento, pelo companheirismo e apoio.

Ao Édipo Menezes da Silva, pelo acolhimento e apoio.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e aos professores do Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária, pelo ensino de qualidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela bolsa de estudos.

*“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino”.*  
*(Leonardo da Vinci)*

## RESUMO

A chicória está entre as principais verduras folhosas incluindo a alface, o repolho, a rúcula e a couve-folha. É consumida na forma de salada ou então refogada, constituindo-se num alimento indicado nas refeições por fornecer nutrientes e vitaminas. No estudo do crescimento e desenvolvimento das verduras é interessante acompanhar o teor e a mobilização dos macronutrientes ao longo do tempo para entender a dinâmica envolvida e a necessidade de adubação buscando respostas eficientes das plantas. O acúmulo de nutrientes nas plantas com o tempo, em geral, apresenta caráter sigmoideal que pode ser descrito por modelos não lineares. O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização dos modelos Logístico e Gompertz no estudo do acúmulo de macronutrientes (Nitrogênio, Potássio, Fósforo, Cálcio, Magnésio, Enxofre), em mg/planta, em função da idade da planta, em dias, na matéria seca das cultivares “Crespa” e “AF-218”, cultivadas com ou sem cobertura com tecido de polipropileno. Os dados foram obtidos de um experimento onde o conteúdo acumulado de macronutriente foi anotado nas idades de 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após os transplantes. Os modelos foram ajustados pelo método de mínimos quadrados utilizando o algoritmo de Gauss-Newton por meio do software R. A avaliação da qualidade do ajuste foi feita com base nos valores do coeficiente de determinação, do desvio padrão residual e do critério de informação de Akaike. Os avaliadores de qualidade mostraram que para as duas cultivares os modelos foram adequados para descrever o acúmulo dos macronutrientes, entretanto, em quase todos os ajustes o modelo Logístico se ajustou melhor. Com base nos intervalos de confiança das estimativas dos parâmetros pôde-se observar que entre as cultivares a “AF-218” apresentou pontos de inflexão mais precoce e maiores acúmulos ao fim do experimento. E ainda sobre a cultivar “AF-218”, quando cultivada sob cobertura de tecido de polipropileno, apresentou resultados melhores.

**Palavras-chave:** Modelo Logístico. Modelo Gompertz. Hortaliças.



## ABSTRACT

Chicory is among the main leafy greens including lettuce, cabbage, arugula and kale. It is consumed in the form of a salad or sautéed, constituting a food indicated in meals for providing nutrients and vitamins. In the study of the growth and development of vegetables, it is interesting to follow the content and mobilization of macronutrients over time to understand the dynamics involved and the need for fertilization, seeking efficient responses from the plants. The accumulation of nutrients in plants over time, in general, has a sigmoidal character that can be described by non-linear models. The objective of this work was to evaluate the use of the Logistic and Gompertz models in the study of the accumulation of macronutrients (Nitrogen, Potassium, Phosphorus, Calcium, Magnesium, Sulphur), in mg/plant, as a function of the age of the plant, in days, in the matter dry season of “Crespa” and “AF-218” cultivars, grown with or without covering with polypropylene fabric. Data were obtained from an experiment where the accumulated macronutrient content was recorded at the ages of 7, 14, 21, 28, 35 and 42 days after transplants. The models were adjusted by the method of least squares using the Gauss-Newton algorithm through the R software. The evaluation of the quality of the adjustment was made based on the values of the coefficient of determination, the residual standard deviation and the Akaike information criterion . The quality evaluators showed that for the two cultivars the models were adequate to describe the accumulation of macronutrients, however, in almost all adjustments the Logistic model adjusted better. Based on the confidence intervals of the parameter estimates, it was possible to observe that among the cultivars “AF-218” presented earlier inflection points and greater accumulations at the end of the experiment. And still on the “AF-218” cultivar, when cultivated under cover of polypropylene fabric, it showed better results.

**Keywords:** Logistics Model. Gompertz model. Vegetables.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Ajustes dos modelos que dos dados de acúmulo de Nitrogênio. . . . .	37
Figura 4.2 – Ajustes dos modelos que se ajustaram melhor aos dados de acúmulo de Potássio. . . . .	40
Figura 4.3 – Ajustes dos modelos que se ajustaram melhor aos dados de acúmulo de Fósforo. . . . .	43
Figura 4.4 – Ajustes dos modelos que se ajustaram melhor aos dados de acúmulo de Cálcio. . . . .	46
Figura 4.5 – Ajustes dos modelos que se ajustaram melhor aos dados de acúmulo de Magnésio. . . . .	49
Figura 4.6 – Ajustes dos modelos que se ajustaram melhor aos dados de acúmulo de Enxofre. . . . .	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Valor-P dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan aplicados aos resíduos dos modelos Logístico e Gompertz ajustados aos dados de Nitrogênio, das quatro cultivares. . . . .	34
Tabela 4.2 – Avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de acúmulo de Nitrogênio (mg/planta). . . . .	35
Tabela 4.3 – Estimativas dos parâmetros para os modelos ajustados aos dados de acúmulo de Nitrogênio em mg/planta . . . . .	36
Tabela 4.4 – Valor-P dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan aplicados aos resíduos dos modelos Logístico e Gompertz ajustados aos dados de Potássio, das quatro cultivares. . . . .	38
Tabela 4.5 – Avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de acúmulo de Potássio (mg/planta). . . . .	38
Tabela 4.6 – Estimativas dos parâmetros para os modelos ajustados aos dados de acúmulo de Potássio em mg/planta. . . . .	39
Tabela 4.7 – Valor-P dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan aplicados aos resíduos dos modelos Logístico e Gompertz ajustados aos dados de Fósforo, das quatro cultivares. . . . .	41
Tabela 4.8 – Avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de acúmulo de Fósforo (mg/planta). . . . .	41
Tabela 4.9 – Estimativas dos parâmetros para os modelos ajustados aos dados de acúmulo de Fósforo em mg/planta. . . . .	42
Tabela 4.10 – Valor-P dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan aplicados aos resíduos dos modelos Logístico e Gompertz ajustados aos dados de Cálcio, das quatro cultivares. . . . .	44
Tabela 4.11 – Avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de acúmulo de Cálcio (mg/planta). . . . .	44
Tabela 4.12 – Estimativas dos parâmetros para os modelos ajustados aos dados de acúmulo de Cálcio em mg/planta. . . . .	45
Tabela 4.13 – Valor-P dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan aplicados aos resíduos dos modelos Logístico e Gompertz ajustados aos dados de Magnésio, das quatro cultivares. . . . .	47

Tabela 4.14 – Avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de acúmulo de Magnésio (mg/planta). . . . .	47
Tabela 4.15 – Estimativas dos parâmetros para os modelos ajustados aos dados de acúmulo de Magnésio em mg/planta. . . . .	48
Tabela 4.16 – Valor-P dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan aplicados aos resíduos dos modelos Logístico e Gompertz ajustados aos dados de Enxofre, das quatro cultivares. . . . .	50
Tabela 4.17 – Avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de acúmulo de Enxofre (mg/planta). . . . .	50
Tabela 4.18 – Estimativas dos parâmetros para os modelos ajustados aos dados de acúmulo de Enxofre em mg/planta. . . . .	51

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
<b>2</b>	<b>Fundamentação teórica</b>	14
<b>2.1</b>	<b>Hortaliças</b>	14
<b>2.2</b>	<b>Chicória</b>	15
<b>2.3</b>	<b>Macronutrientes</b>	17
<b>2.4</b>	<b>Modelos de regressão</b>	21
<b>2.5</b>	<b>Modelos não lineares</b>	22
<b>2.6</b>	<b>Modelo Logístico</b>	23
<b>2.7</b>	<b>Modelo Gompertz</b>	24
<b>2.8</b>	<b>Estimação dos parâmetros</b>	24
<b>2.9</b>	<b>Métodos iterativos</b>	28
<b>2.10</b>	<b>Análise de Resíduos</b>	29
<b>2.11</b>	<b>Avaliadores de qualidade</b>	30
<b>2.12</b>	<b>Intervalo de confiança para os parâmetros</b>	31
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	33
<b>3.1</b>	<b>Método</b>	33
<b>4</b>	<b>Resultados e discussões</b>	34
<b>4.1</b>	<b>Nitrogênio</b>	34
<b>4.2</b>	<b>Potássio</b>	37
<b>4.3</b>	<b>Fósforo</b>	40
<b>4.4</b>	<b>Cálcio</b>	44
<b>4.5</b>	<b>Magnésio</b>	46
<b>4.6</b>	<b>Enxofre</b>	49
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	53
	<b>REFERÊNCIAS</b>	54

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Canella et al. (2018), as hortaliças são importantes fontes de vitaminas, minerais, fibras e outros compostos bioativos. Além disso, apresentam baixa densidade energética, contendo poucas calorias em um grande volume de material consumido, o que acaba por favorecer a manutenção de um corpo saudável. Callou et al. (2021) afirma que o maior consumo de hortaliças apresenta diversos benefícios como diminuição de doenças crônicas ou sintomatologias de hipovitaminoses caracterizada pela falta de uma ou mais vitaminas no organismo.

Silva e Claro (2019) afirmam que a OMS (Organização mundial da saúde) e a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), assim como o Ministério da Saúde, recomendam há cerca de 20 anos o consumo mínimo de 400g de frutas e hortaliças diariamente (equivalente a cinco porções diárias) como comportamento promotor de saúde e fator de proteção para diversas doenças.

A chicória, de nome científico *Cichorium intybus L.*, é uma hortaliça rica em vitaminas, minerais e fibras, podendo ser consumida em saladas frescas ou em chás. As partes mais usadas são suas folhas e raízes. A chicória também é conhecida como chicória-do-café, almeirão, almeirão-selvagem, chicória-amarga e chicória-selvagem. Ela também é usada de forma medicinal para tratar problemas no fígado ou intestino, ajudar no tratamento de dores musculares, prevenir doenças cardiovasculares e fortalecer o sistema imunológico.

Ao estudar o crescimento e desenvolvimento das plantas é interessante acompanhar o teor e a mobilização dos macronutrientes ao longo do tempo para entender a dinâmica envolvida e a necessidade de adubação buscando respostas eficientes das plantas. O acúmulo de nutrientes nas plantas com o tempo, em geral, apresenta caráter sigmoidal que pode ser descrito por modelos não lineares.

Nesse sentido, diversos autores trabalham no estudo de curvas de crescimento, em várias áreas, utilizando modelos lineares. Mazzini et al. (2003) afirmam que as funções não lineares mais utilizadas na descrição de curvas de crescimento são as de Richards, Gompertz, Von Bertalanffy, Brody e Logística.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização dos modelos não-lineares Logístico e Gompertz no estudo do acúmulo dos macronutrientes em plantas de chicória, em mg/planta, em função da idade da planta na matéria seca das cultivares "chicória crespa" e "AF-218", cultivadas com e sem cobertura de tecido de Polipropileno.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção é apresentada uma revisão de literatura sobre hortaliças, chicória, os modelos não-lineares e a estimação dos parâmetros desses modelos bem como seus intervalos de confiança e os avaliadores de qualidade de ajuste.

### 2.1 Hortaliças

O consumo de hortaliças é indispensável na alimentação dos seres humanos, pois são alimentos reguladores que tem como características serem fontes de vitaminas, minerais e nutrientes que mantêm o equilíbrio do organismo e ajudam para seu pleno funcionamento.

Além disso, existe uma série de compostos bioativos presentes nestes vegetais que auxiliam no combate e prevenção de doenças. As fibras que são fundamentais para proteger a flora intestinal, ajudam a eliminar toxinas e uma série de outros benefícios, estão presentes nas hortaliças também.

Zorzi (2021) afirma que as hortaliças, principalmente as folhosas como a alface (*Lactuca sativa*) e a chicória (*Cichorium intybus L.*), são ricas em vitaminas e minerais, além de possuírem efeitos antioxidantes atuantes no organismo, o que implica em um fator protetor contra diversas doenças.

Carvalho et al. (2006) dizem que é importante o consumo de hortaliças para uma boa dieta, elas geralmente são servidas junto com proteína (carne ou peixe) e carboidrato (massa ou arroz). As hortaliças têm pouca gordura e calorias, relativamente pouca proteína, mas são ricas em carboidratos e fibras e fornecem níveis significativos de micronutrientes à dieta (FAVELL, 1998).

As hortaliças são plantas de consistência herbácea, geralmente de ciclo curto e tratos culturais intensivos, cujas partes comestíveis são diretamente utilizadas na alimentação humana, ou seja, in natura ou com pouco processamento. Fornecem folhas, hastes, flores, frutos, raízes e outras partes que são utilizadas na alimentação, cruas ou cozidas. (AMARO et al., 2007).

As hortaliças folhosas são as espécies hortícolas que vem ganhando destaque e aumento da oferta em refeições e se enquadram como as mais consumidas no mundo apresentando grande diversidade de cor, textura, sabor, forma de preparo e uso, dentre elas se destaca a rúcula (BENNETT et al., 2015).

A produção de hortaliças no Brasil está associada principalmente ao trabalho da agricultura familiar, suas regiões produtivas estão próximas aos centros de comercialização, em razão de serem produtos perecíveis, dificultando a logística de armazenamento e transporte (FAULIN; AZEVEDO, 2003).

Amaro et al. (2007) afirmam que três fatores climáticos são muito importante para a produção de hortaliças: a temperatura, a umidade e a luminosidade. Estes fatores influenciam no ciclo, qualidade e produtividade das hortaliças.

As hortaliças compreendem mais de 70 espécies e podem ser agrupadas de acordo com a parte comestível em: Hortaliças-folhosas (alface, almeirão, agrião, espinafre, couve, cebolinha, salsa, rúcula), Hortaliças-flores (couve-flor, couve brócolis), Hortaliças-frutos (berinjela, jiló, abóbora, quiabo, chuchu, tomate, pimentão, pepino), Hortaliças-tubérculos (batata, cará), Hortaliças-raízes (cenoura, beterraba, rabanete, nabo, batata-doce), Hortaliças-bulbos (cebola, alho), Hortaliças-rizomas (inhame), Hortaliças-hastes (aspargo, aipo ou salsão), Hortaliças-condimentos (cebolinha, coentro, pimenta, salsa, manjeriço, hortelã).

A alface se destaca pelo seu sabor agradável e refrescante e por ser fácil de preparar. Ela pode ter a folha lisa ou crespa e há uma grande variedade nas tonalidades, podendo ser roxas ou verdes claras e escuras.

## 2.2 Chicória

Para Bais e Ravishankar (2001), o gênero *Chicorium* possui seis espécies das quais se destacam duas principais, a *Chicorium endivia L.* e a *Chicorium intybus L.* (SCHOOF; LANGHE, 1988).

De acordo com Feltrim et al. (2008), a espécie *Chicorium endivia L.* é do tipo crespa, e apresentam duas variedades (*Chicorium endivia var. crispa L.* e *Chicorium endivia var. latifolia L.*). Ainda segundo os autores, a primeira possui folhas muito divididas e retorcidas, com os bordos dentados e a segunda apresenta folhas largas, onduladas e os bordos são apenas de forma dentada. As folhas exteriores são verde escuro; as internas são protegidas da luz e são amareladas ou esbranquiçadas.

A chicória (*Chicorium intybus L.*), também conhecida como chicória do café, almeirão, almeirão-selvagem, chicória-amarga e chicória-selvagem, é uma planta herbácea, perene, e de



acordo com Rumball et al. (2003) pertence à família *Asteraceae*, da qual estão milhares de espécies entre elas as alfaces, os girassóis e as margaridas.

Esta planta herbácea cresce melhor em temperaturas que variam de 20 a 26°C. A semeadura é feita geralmente no outono e no inverno. Mesmo assim, pode ser plantado o ano todo em áreas de grande altitude (FILGUEIRA, 2008).

Ainda de acordo com Filgueira (2008), a colheita da chicória é realizada a partir de 65-80 dias após a semeadura, dependendo sempre do vigor das plantas, a colheita é feita cortando as plantas rente ao solo, ou arrancando com as raízes.

Para Cabral et al. (2018) a chicória, juntamente com alface, repolho, rúcula são as principais hortaliças folhosas consumidas no Brasil. De acordo com os autores a chicória é consumida refogada ou in natura, que independente da forma de consumo constitui-se um alimento rico em nutrientes e vitaminas.

### **Benefícios da chicória**

Diversas pesquisas sobre a chicória já evidenciaram resultados promissores relacionados ao potencial desta matriz vegetal na prevenção de algumas doenças como a hipertensão (NOUMI; HOUNGUE; LONTSI, 1999; DUKE, 2009), reumatismo (LEONTI; STICHER; HEINRICH, 2003), também a asma (ZAMORA-MARTÍNEZ; PASCUAL-POLA, 1992), doenças oculares (ZHENG et al., 2018), dentre outras propriedades.

De acordo com Nandagopal e Kumari (2007) a raiz tuberosa desta planta contém vários compostos medicinalmente importantes, como inulina, lactonas sesquiterpênicas amargas, cumarinas, flavonóides e vitaminas.

Os autores também afirmam que a raiz da planta é utilizada como anti-hepatotóxica, antiulcerogênica, antiinflamatória, aperitivo, digestiva, estomacal, tônica hepática, colagoga, cardiotônica, depurativa, diurética, emenagoga, febrífuga, alexetérica e também como tônica.

Ainda segundo Nandagopal e Kumari (2007) a raiz da chicória é útil em condições viciadas de kapha e pitta, cefalalgia, hepatomegalia, inflamações, anorexia, dispepsia, flatulência, cólica, gota, sensação de queimação, condições alérgicas da pele, icterícia, esplenomegalia, hiperdipsia, doenças de pele, lepra, estrangúria, amenorreia, febres crônicas e biliosas, oftalmia, faringite, vômitos.

Esta planta também é usada para tratar AIDS, câncer, diabetes, dismenorreia, impotência, insônia, esplenite e taquicardia (VERMA et al., 2013). A inulina é usada para substituir a gordura ou o açúcar e reduzir as calorias dos alimentos. É adequado para consumo por diabéticos e também é usado no teste de depuração de inulina para medir a taxa de filtração glomerular-TFG. De acordo com Causey et al. (2000), a inulina pode reduzir os lipídeos circulantes e estabilizar a glicose sanguínea, propriedades essas que também pertencem às fibras solúveis.

## 2.3 Macronutrientes

### Nitrogênio

O Nitrogênio (N) é considerado elemento essencial para as plantas, pois está presente na composição das mais importantes biomoléculas, tais como ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas e inúmeras enzimas (MIFLIN; LEA, 1976; HARPER, 1994). Além disso é um dos nutrientes que mais contribuem para o metabolismo fisiológico vegetal, relacionado diretamente à formação das proteínas (BENETT et al., 2015).

De acordo com Dechen e Nachtigall (2007) o Nitrogênio é necessário para a síntese da clorofila e está envolvido no processo de fotossíntese. Ainda segundo os autores, este macronutriente é componente das vitaminas e dos sistemas energéticos na planta.

É possível perceber a deficiência de Nitrogênio nas plantas, pois elas apresentam alguns sintomas como: coloração verde pálida ou amarelada nas folhas (principalmente mais velhas), em casos mais graves as plantas tem suas folhas com uma coloração marrom, como queimadas, que vão se expandindo pelas folhas, inibe o crescimento das raízes e da planta, redução da produtividade de grãos e frutos, reduz o crescimento dos frutos (LABORSOLO, 2013).

O Nitrogênio é o nutriente fundamental no desenvolvimento das culturas, sendo o macronutriente requerido em maiores quantidades pelas plantas, por ser constituinte básico das proteínas e enzimas, clorofila, ácidos nucleicos, além de participar da síntese hormonal (TAIZ; ZEIGER, 2013), portanto a adequada adubação nitrogenada é imprescindível na produção da cultura da rúcula.

No entanto, o excesso de Nitrogênio disponível pode causar redução nas características visuais e produtivas, tais como número de folhas e massa fresca e seca das plantas (JUNIOR et al., 2010).

## **Potássio**

De acordo com Dechen e Nachtigall (2007) o Potássio (K) é o sétimo elemento mais abundante na crosta terrestre. É encontrado no solo em minerais primários e intemperizados. Os autores também afirma que o Potássio é um dos elementos essenciais na nutrição da planta e um dos três que se encontra, no forma disponível, em pequenos teores nos solos tropicais muito intemperizados, limitando o rendimento dos cultivos.

Em muitas hortaliças, o Potássio tem importância fundamental nos parâmetros de qualidade (FILHO; GRANGEIRO, 2004). A importância crucial do Potássio na formação da qualidade baseia-se na sua função de promotor da síntese de fotossintatos e seu transporte para frutos, grãos, tubérculos e órgãos de armazenamento da planta, aumentando a conversão daqueles em amido, proteína, vitaminas, óleos, etc (MENGEL; KIRKBY, 1987).

O Potássio causa vários efeitos positivos nas plantas, dos quais podemos destacar o incremento no crescimento das raízes, o aumento da resistência às secas e às baixas temperaturas, o aumento na resistência a pragas e moléstias, resistência ao acamamento das plantas, o incremento na nodulação das leguminosas, o incremento no teor de proteína, de amido nos grãos e tubérculos, na coloração e aroma dos frutos, no teor de vitamina C e possibilita períodos maiores de armazenamento de culturas como banana, tomate, batata, cebola e outros (LABORSOLO, 2013).

A falta de Potássio nas plantas pode causar sintomas como, o acamamento das plantas, a inibição do crescimento das raízes e da planta, a clorose das folhas mais velhas, a necrose na borda das folhas, em casos mais graves, a necrose avança até a nervura, fazendo com que a folha curve-se para baixo e leve a sua queda (esse processo em algumas culturas é conhecida como "bronzamento da folha" ou "fome de potássio") e atrasa a floração (LABORSOLO, 2013).

## **Fósforo**

As plantas requerem fornecimento constante de Fósforo durante todo o ciclo de vida (FERNANDES et al., 2008). Boodley (1975) afirma que no final do desenvolvimento há um aumento na exigência da planta pelo Fósforo, com efeito benéfico no tamanho final das inflorescências.

Segundo Dechen e Nachtigall (2007), o Fósforo desempenha um papel importante na fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão e crescimento celular, dentre outros processos que ocorrem na planta.

É possível identificar a deficiência de Fósforo nas plantas, pois elas apresentam alguns sintomas como a coloração púrpura/avermelhada das folhas mais velhas, menor crescimento da planta, redução da quantidade e do tamanho de frutos e a redução na produção de sementes. Deficiências extremas levam as folhas a terem uma cor verde-escura sem brilho ou verde azulada (LABORSOLO, 2013).

## **Cálcio**

É um elemento essencial para o crescimento de meristemas e, particularmente, para o crescimento e funcionamento apropriado dos ápices radiculares. (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). Ainda segundo Dechen e Nachtigall (2007), o Cálcio tem como função impedir danos à membrana celular, evitando a saída de substâncias intracelulares, exercendo papel estrutural ao manter a integridade da membrana citoplasmática.

Considerado um macronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento vegetal, o Cálcio (Ca) exerce funções bioquímicas na planta, tais como constituinte da lamela média das paredes celulares, sendo requerido como cofator por algumas enzimas envolvidas na hidrólise de ATP e de fosfolípidos. Além disso, atua como mensageiro secundário na regulação metabólica (TAIZ et al., 2017).

Em termos gerais, o Cálcio atua na estrutura celular, sendo um dos componentes da parede da célula, agindo também na germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico, auxiliando na disponibilidade de Molibdênio e outros micronutrientes para as plantas. No solo, atua como agente redutor da acidez, diminuindo a toxidez de alumínio, cobre e manganês (LABORSOLO, 2013).

Algumas das principais funções que o Cálcio exerce sobre as plantas são sua atuação na estrutura da planta, compondo a parede celular, atua também na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico, auxilia na disponibilidade de molibdênio e de outros micronutrientes. Também podemos destacar que no solo, este macronutriente atua reduzindo a acidez e diminuindo a toxidez do alumínio, cobre e manganês (LABORSOLO, 2013).

A deficiência de Cálcio nas plantas pode afetar crescimento da raiz, dificultar a germinação do grão de pólen e causar um aspecto gelatinoso nas pontas das folhas e nos pontos de crescimento. Na soja é um sintoma comum vagens chochas e no milho é um sintoma comum as folhas enroladas (LABORSOLO, 2013).

Aplicação de grandes quantidades de Cálcio e Magnésio em solos deficientes em Potássio ou aplicação em excesso de Cálcio em solo deficiente em Magnésio pode causar desequilíbrio nutricional e crescimento reduzido da cultura (LABORSOLO, 2013).

## **Magnésio**

O Magnésio (Mg) além de exercer papel na atividade como cofator em quase todas as enzimas do metabolismo energético e na molécula de clorofila, este íon é requerido para a integridade dos ribossomos e contribui efetivamente para a estabilidade estrutural dos ácidos nucleicos e membranas (TAIZ et al., 2017).

De acordo com Taiz et al. (2017), o Magnésio é um macronutriente essencial para o desenvolvimento das plantas e é requerido por várias enzimas envolvidas na transferência de fosfato, além de ser constituinte da clorofila da planta. Além disso, o Magnésio atua na ativação de enzimas envolvidas na respiração celular, fotossíntese, e na síntese de RNA e DNA.

Entre as principais funções exercidas pelo Magnésio podemos destacar que, é um componente importante da clorofila, ativador de enzimas, trabalha também no metabolismo do Nitrogênio, afeta a síntese de proteína e a ativação dos aminoácidos e contribui para a absorção de Fósforo.

A deficiência de Magnésio pode causar clorose entre as nervuras, espalhando-se das margens para o centro da folha, reduz o crescimento, inibi a floração, pode causar necrose e morte prematura das folhas e a degeneração de frutos. Para suprir a deficiência de Mg, é fundamental que se realize a adubação do solo.

Aplicação de grandes quantidades de Cálcio e Magnésio em solos deficientes em Potássio ou aplicação em excesso de Cálcio em solo deficiente em Magnésio pode causar desequilíbrio nutricional e crescimento reduzido da cultura.

## **Enxofre**

O Enxofre (S) é um macronutriente aniônico secundário muito importante para o desenvolvimento das plantas juntamente com o Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) (LABOR-SOLO, 2013). De acordo com Stipp e Casarin (2010), o Enxofre (S) é reconhecido, junto com Nitrogênio, Fósforo e potássio, como um nutriente-chave necessário ao desenvolvimento das culturas.

Sua função na planta se assemelha a função do nitrogênio, contudo ele está presente em menores quantidades nas plantas. Algumas das funções exercidas pelo Enxofre nas plantas são o controle hormonal para o crescimento e diferenciação celular, o auxílio à planta na defesa contra pragas e doenças, a importância na composição das proteínas, melhora a qualidade nutritiva dos cereais, eleva a produção de colmos e o teor de sacarose na cana-de-açúcar, ajuda a reduzir o teor de nitrato em forrageiras e torna as hortaliças mais macias.

Quando há deficiência deste macronutriente secundário, a síntese de proteína é inibida porque o S é participante de dois aminoácidos essenciais (cistina e a metionina), como consequência as plantas apresentam menor teor de clorofila e raízes menos desenvolvidas (RAIJ, 2011 apud SOARES et al., 2017). A deficiência de enxofre pode ser percebida ao observar os seguintes sintomas: clorose uniforme ou nas folhas mais novas, redução do crescimento da planta e das folhas, redução do florescimento e coloração verde-amarelada nas folhas.

## **2.4 Modelos de regressão**

Os modelos de regressão analisam a relação entre uma ou mais variáveis explicativas e uma variável de resultado enquanto controlam os efeitos de outras variáveis. De acordo com Long (2001), o modelo de regressão linear é provavelmente o método estatístico mais utilizado nas ciências sociais.

De acordo com Draper e Smith (1998) o modelo de regressão pode ser escrito da seguinte forma:

$$Y_i = f(X_i, \beta_j) + \varepsilon_i \quad (2.1)$$

com  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $j = 1, 2, \dots, p$  em que  $Y_i$  é o valor observado ou variável dependente,  $f(X_i, \beta_j)$  é uma função (ou relação), podendo ser linear ou não,  $X_i$  é a variável explicativa, constante conhecidas ou independentes, os  $\beta_j$  são os parâmetros e o  $\varepsilon_i$  os erros associados ao modelo, considerados com distribuição normal, com média zero, independentes e variância constante.

Ainda de acordo com Draper e Smith (1998), os modelos de regressão podem ser classificados em lineares, não lineares e linearizáveis. Os modelos lineares são aqueles em que a derivada parcial em relação a cada um de seus parâmetros não depende de nenhum dos parâmetros do modelo. Vejamos alguns exemplos:

$$\text{i } f(X, \alpha) = \alpha \Rightarrow \frac{\partial f}{\partial \alpha} = 1;$$

$$\text{ii } f(X, \alpha, \beta) = \alpha + \beta X \Rightarrow \frac{\partial f}{\partial \alpha} = 1 \text{ e } \frac{\partial f}{\partial \beta} = X;$$

$$\text{iii } f(X, \alpha, \beta, \gamma) = \alpha + \beta X + \gamma X^2 \Rightarrow \frac{\partial f}{\partial \alpha} = 1, \frac{\partial f}{\partial \beta} = X \text{ e } \frac{\partial f}{\partial \gamma} = X^2.$$

Os modelos não lineares são aqueles que pelo menos uma das derivadas parciais em relação a um parâmetro é dependente de algum parâmetro do modelo. Vejamos alguns exemplos.

$$\text{i } f(X, \alpha, \beta, \gamma) = \alpha + \beta e^{\gamma X} \Rightarrow \frac{\partial f}{\partial \alpha} = 1, \frac{\partial f}{\partial \beta} = e^{\gamma X} \text{ e } \frac{\partial f}{\partial \gamma} = \beta X e^{\gamma X};$$

$$\text{ii } f(X, \alpha, \beta, \gamma) = \alpha \text{sen}(\beta X + \gamma) \Rightarrow \frac{\partial f}{\partial \alpha} = \text{sen}(\beta X + \gamma), \frac{\partial f}{\partial \beta} = \alpha X \cos(\beta X + \gamma) \text{ e } \frac{\partial f}{\partial \gamma} = \alpha \cos(\beta X + \gamma).$$

Já os modelos linearizáveis são aqueles que a princípio são não lineares, mas que podem se tornar lineares através de uma transformação apropriada em sua variável dependente e/ou independente. Tomemos como exemplo a função  $f(X, \alpha, \beta) = e^{\alpha + \beta X}$ , que pode ser escrita com  $Y = e^{\alpha + \beta X}$  e através de uma transformação logarítmica se transforma no modelo linear  $\ln Y = \alpha + \beta X$ .

## 2.5 Modelos não lineares

O modelo de regressão não linear pode ser escrito na forma

$$Y_i = f(X_i; \beta) + \varepsilon_i, \quad (2.2)$$

com  $i = 1, \dots, n$ , em que  $Y_i$  é a variável resposta,  $f(X_i; \beta)$  é uma função não linear contínua, com forma conhecida, do vetor de variáveis explicativas  $X_i$ , e dos parâmetros desconhecidos  $\beta$  e  $\varepsilon_i$  os erros atribuídos ao modelo.

Os modelos de regressão não lineares apresentam grandes vantagens em relação aos modelos lineares na descrição de crescimentos. Dentre as vantagens Zeviani, Junior e Bonat (2013) afirmam que as principais são que sua escolha está associada à conhecimento prévio sobre a relação a ser modelada e que geralmente apresenta interpretação prática para os parâmetros.

Para realização deste trabalho foram utilizados dois modelos não lineares: o modelo Logístico (2.3) e o modelo de Gompertz (2.4). Ambos serão apresentados a seguir.

## 2.6 Modelo Logístico

De acordo com Figueiredo, Martins e Ferreira (2019), o modelo Logístico foi proposto pelo matemático belga Pierre Verhulst, para propor uma taxa de crescimento com limiar. Fernandes et al. (2015b) afirmam que são muitas as parametrizações para os modelos não lineares usadas por autores na descrição de curvas de crescimento, mas a que apresentou melhor desempenho para o modelo Logístico devido, principalmente, à interpretação prática de todos os parâmetros foi:

$$Y_i = \frac{\alpha}{1 + e^{\kappa(\beta - x_i)}} + \varepsilon_i, \quad (2.3)$$

com  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , onde  $Y_i$  é a  $i$ -ésima observação da variável dependente,  $x_i$  é a  $i$ -ésima observação da variável independente,  $\alpha$  é o valor esperado para o crescimento máximo em estudo,  $\beta$  é a abscissa do ponto de inflexão do modelo,  $\kappa$  é um índice associado ao crescimento, quanto maior for o seu valor, menos tempo é necessário para atingir a abscissa do ponto de inflexão e  $\varepsilon$  é o erro aleatório do modelo, que é assumida como independente e identicamente distribuído, em que  $\varepsilon \sim N(0, I\sigma^2)$ .

De acordo com Mischan e Pinho (2014), no modelo Logístico a abscissa do ponto de inflexão é dada por  $x = \beta$ , que podemos comprovar pelo valor da variável independente que anula a derivada de segunda ordem da função.



Fazendo  $x = \beta$  na função 2.3, temos que:

$$y = \frac{\alpha}{1 + e^{\kappa(\beta - \beta)}} \Rightarrow y = \frac{\alpha}{2}.$$

Dessa forma, a coordenada  $(\beta, \frac{\alpha}{2})$  representa o ponto de inflexão da função Logística, que fica exatamente na metade do valor assintótico ( $\alpha$ ).

## 2.7 Modelo Gompertz

De acordo com Fernandes et al. (2015a), o modelo Gompertz é um dos modelos de regressão não linear mais utilizados e foi proposto por Gompertz em 1825.

Uma das parametrizações do modelo Gompertz, e que foi utilizada nesse trabalho pode ser expressa da seguinte maneira:

$$Y_i = \alpha e^{-e^{\kappa(\beta - x_i)}} + \varepsilon_i, \quad (2.4)$$

A interpretação dos parâmetros é a mesma definida anteriormente para o modelo Logístico.

Considere a função 2.4, igualando a derivada de segunda ordem a zero obtêm-se a abscissa do ponto de inflexão da função, que assim como no modelo Logístico 2.3 é dado por  $x = \beta$ , que se substituirmos na função 2.4 teremos

$$y = \alpha e^{-e^{\beta - \beta}} \Rightarrow y = \alpha e^{-e^0} \Rightarrow y = \alpha e^{-1} \Rightarrow y = \frac{\alpha}{e}.$$

Dessa forma, temos que o modelo de Gompertz tem ponto de inflexão em  $(\beta, \frac{\alpha}{e})$ , com  $e \approx 2,7183$ . Em comparação com o modelo Logístico 2.3, como  $\frac{\alpha}{e} < \frac{\alpha}{2}$ , podemos afirmar que no modelo Gompertz o ponto de inflexão é atingido mais cedo, ou seja, este modelo é mais precoce.

## 2.8 Estimação dos parâmetros

A estimação dos parâmetros, em geral, é feita pelo método dos mínimos quadrados, que consiste na minimização das somas de quadrados dos resíduos. (DRAPER; SMITH, 1998).

O método de mínimos quadrados é o mais utilizado e tem como objetivo minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre o valor estimado e os dados observados.

Na literatura são propostos vários métodos iterativos para obtenção dos estimativas dos parâmetros de um modelo de regressão não-linear. As técnicas de estimação são utilizadas para determinar parâmetros de um modelo de regressão das distribuições de dados de entrada obtidos experimentalmente.

Gallant (1987) afirma que os métodos de mínimos quadrados podem ser classificados de acordo com a estrutura de erros da seguinte forma:

- i **ordinários:** são aqueles cuja estrutura dos erros não viola nenhuma das pressuposições, ou seja,  $\varepsilon \sim N(0, I\sigma^2)$ ;

Para melhor compreensão do método considere uma equação de regressão não linear, equação 2.3 por exemplo. Podemos escrevê-la da seguinte forma:

$$\mathbf{Y} = f(\mathbf{X}, \boldsymbol{\theta}) + \varepsilon \quad (2.5)$$

onde,

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}; f(\mathbf{X}, \boldsymbol{\theta}) = \begin{bmatrix} f(X_1, \boldsymbol{\theta}) \\ f(X_2, \boldsymbol{\theta}) \\ \vdots \\ f(X_n, \boldsymbol{\theta}) \end{bmatrix}; \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Através deste método, para realizarmos a estimação dos parâmetros, devemos minimizar a soma de quadrados dos resíduos (SQR). Temos que:

$$SQR(\boldsymbol{\theta}) = \varepsilon' \varepsilon = [Y - f(X; \boldsymbol{\theta})]' [Y - f(X; \boldsymbol{\theta})]$$

Logo,

$$SQR(\boldsymbol{\theta}) = \{Y' - [f(X; \boldsymbol{\theta})]'\} [Y - f(X; \boldsymbol{\theta})]$$

$$SQR(\boldsymbol{\theta}) = Y'Y - Y'f(X; \boldsymbol{\theta}) - [f(X; \boldsymbol{\theta})]'Y + [f(X; \boldsymbol{\theta})]'f(X; \boldsymbol{\theta})$$

$$SQR(\boldsymbol{\theta}) = Y'Y - 2Y'f(X; \boldsymbol{\theta}) + [f(X; \boldsymbol{\theta})]'f(X; \boldsymbol{\theta})$$

Esta é uma forma quadrática e seu ponto crítico é obtido derivando-se  $SQR(\theta)$  em relação à  $\theta$  e igualando-se a derivada a zero. Assim,

$$\frac{\partial SQR(\theta)}{\partial \theta} = -2Y' \times \frac{\partial f(X; \theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial [f(X; \theta)]'}{\partial \theta} \times f(X; \theta) + [f(X; \theta)]' \times \frac{\partial f(X; \theta)}{\partial \theta}$$

Em que  $\frac{\partial f(X; \theta)}{\partial \theta}$  é a matriz de derivadas parciais, também conhecida como matriz jacobiana, de dimensões  $n \times p$ , sendo  $n$  o número de observações e  $p$  a quantidade de parâmetros do modelo. Essa matriz pode ser representada como:

$$\frac{\partial f(X; \theta)}{\partial \theta} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(x_1; \theta)}{\partial \theta_1} & \frac{\partial f(x_1; \theta)}{\partial \theta_2} & \cdots & \frac{\partial f(x_1; \theta)}{\partial \theta_p} \\ \frac{\partial f(x_2; \theta)}{\partial \theta_1} & \frac{\partial f(x_2; \theta)}{\partial \theta_2} & \cdots & \frac{\partial f(x_2; \theta)}{\partial \theta_p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f(x_n; \theta)}{\partial \theta_1} & \frac{\partial f(x_n; \theta)}{\partial \theta_2} & \cdots & \frac{\partial f(x_n; \theta)}{\partial \theta_p} \end{bmatrix}.$$

Chamando de  $J$  a matriz jacobiana, temos que:

$$-2Y' + [f(X; \hat{\theta})]'J = 0 \Rightarrow J'f(X; \hat{\theta}) = J'Y$$

Esse é o sistema de equações normais (SEN) para o modelo não linear, no qual a matriz  $J$  e  $f(X; \theta)$  dependem de  $\theta$ , logo esse sistema não possui uma solução explícita para  $\hat{\theta}$ .

- ii **ponderados**: são aqueles cuja estrutura de erros não atende a pressuposição de homogeneidade de variâncias (homocedasticidade), assim os erros são classificados como heterocedásticos,  $\varepsilon \sim N(0, D\sigma^2)$ , em que  $D$  é uma matriz diagonal, positiva definida, cujos elementos da diagonal são os pesos que ponderam a variância  $\sigma^2$ ;

A matriz  $D$  pode ser escrita na forma:

$$D = \begin{bmatrix} D_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & D_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & D_n \end{bmatrix}$$

Como a pressuposição da independência dos resíduos é válida, os resíduos não são correlacionados, logo os elementos da matriz  $D$  fora da diagonal principal são nulos, isto é,  $E[\varepsilon_i, \varepsilon_j] = 0$  para  $i \neq j$ .

Considerando uma matriz diagonal  $P$ , cujos elementos são dados por  $\lambda_i = \frac{1}{\sqrt{D_i}}$ , ou seja,

$$D = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_n \end{bmatrix}$$

temos que,  $PP = D^{-1}$  e  $D = P^{-1}P^{-1}$ .

Multiplicando-se cada termo do modelo  $Y = f(X; \theta) + \varepsilon$  por  $P$ , obtém-se o modelo  $PY = Pf(X; \theta) + P\varepsilon \Rightarrow Y^* = f^*(X; \theta) + \varepsilon^*$ . Dessa forma, o vetor de erros desse novo modelo é dado por  $\varepsilon^* = P\varepsilon$ . Uma vez que  $E(\varepsilon) = 0$ , tem-se que  $E(\varepsilon)^* = 0$  e ainda,

$$Var(\varepsilon^*) = Var(P\varepsilon) = PVar(\varepsilon)P' = PDP' \sigma^2 = PP^{-1}P^{-1}P\sigma^2 = I\sigma^2$$

Portanto, o modelo  $PY = Pf(X; \theta) + P\varepsilon$  possui resíduos homocedásticos.

- iii **generalizados**: são aqueles cuja estrutura de erros não atende a pressuposição de independência e/ou de homogeneidade de variâncias, logo os erros são correlacionados e possivelmente heterocedásticos,  $\varepsilon \sim N(0, W\sigma^2)$ , em que  $W$  é uma matriz simétrica, positiva definida, cujos elementos da diagonal principal são as ponderações das variâncias e fora dela a correlação dos erros.

De acordo com Morettin e Tolo (2006), admitindo-se que os resíduos sejam correlacionados na forma de um processo autorregressivo estacionário de ordem  $p$ ,  $AR(p)$ , tem-se que

$$\varepsilon_i = \Phi_1 \varepsilon_{i-1} + \dots + \Phi_p \varepsilon_{i-p} + a_i,$$

em que,  $\varepsilon_i$  é o resíduo do ajuste no  $i$ -ésimo tempo, com  $i = 1, \dots, p$  e  $p$  o número de tempos em que foram realizadas as medidas de crescimento;  $\Phi_1$  é o parâmetro autorregressivo de ordem 1;  $\varepsilon_{i-1}$  é o resíduo do ajuste do tempo imediatamente anterior à  $i$ -ésima

medida;  $\Phi_p$  é o parâmetro autorregressivo de ordem  $p$ ;  $\varepsilon_{i-p}$  é o resíduo do ajuste em  $p$  tempos anteriores à  $i$ -ésima medida e  $a_i$  é o ruído branco com distribuição normal, média zero e variância  $\sigma_a^2$ . Dessa forma  $E(a_i) = 0$ ,  $E(a_i^2) = \sigma_a^2$  e  $E(a_i, a_{i-h}) = 0$  se  $h \neq 0$ .

Para o caso particular de primeira ordem  $AR(1)$ , tem-se  $\varepsilon_i = \Phi_1 \varepsilon_{i-1} + a_i$  Ribeiro et al. (2017).

$$W = \frac{\sigma_a^2}{1 - \Phi_1^2} \begin{bmatrix} 1 & \Phi_1 & \Phi_1^2 & \dots & \Phi_1^{n-1} \\ \Phi_1 & 1 & \Phi_1 & \dots & \Phi_1^{n-2} \\ \Phi_1^2 & \Phi_1 & 1 & \dots & \Phi_1^{n-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Phi_1^{n-1} & \Phi_1^{n-2} & \Phi_1^{n-3} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

A escolha do método de mínimos quadrados a ser utilizado depende apenas da estrutura de erros do modelo de regressão analisado.

## 2.9 Métodos iterativos

Para os modelos não lineares, a estimação de parâmetros feita através de mínimos quadrados, nos leva a um sistema de equações normais sem solução explícita. Devido a isso, as estimativas são obtidas através de métodos iterativos (DRAPER; SMITH, 1998). Os autores também afirmam que os métodos iterativos mais aplicados são o método de Gauss-Newton ou método da linearização, o método Steepest-Descent ou método do gradiente e o método de Marquardt.

Dentre os métodos citados, o mais utilizado é o Gauss-Newton, que consiste no desenvolvimento da série de Taylor até o termo de primeira ordem da função  $f(\mathbf{X}, \theta)$ , em torno do ponto  $\theta^0$  (ou até que algum critério de convergência seja aceito), o qual é um vetor de estimativas iniciais, e, assim, aplicar algum dos métodos de estimação dos parâmetros (MAZUCHELI; ACHCAR, 2002).

Neste trabalho, o método de estimação utilizado foi de Gauss-Newton, descrito abaixo.

Dada a função

$$F(\beta) = \varepsilon' \varepsilon = [y - f(\beta)]' [y - f(\beta)],$$

a Hessiana de  $F(\beta)$  é

$$\pi(\beta) = 2Z(\beta)'Z(\beta) - 2 \sum_{t,t'=1}^n [y_t - f_t(\beta)] \left[ \frac{\partial^2 f_t(\beta)}{\partial \beta \partial \beta'} \Big|_{\beta_n} \right],$$

em que  $Z(\beta) = \left[ \frac{\partial f}{\partial \beta'} \Big|_{\beta_n} \right]$ . Neste método, assume-se que a média de  $e_t = y_t - f_t(\beta)$  é zero, então  $2Z(\beta)'Z(\beta)$  é assumida como a aproximação para  $F(\beta)$ . Dessa forma,

$$P_n = [2Z(\beta)'Z(\beta)]^{-1}$$

(BARD, 1974).

## 2.10 Análise de Resíduos

Para a análise de resíduos, ou seja, para verificar os pressupostos de normalidade, homogeneidade e independência dos erros foram usados os teste de Shapiro-Wilk, Breusch-Pagan e Durbin-Watson.

Para verificar o pressuposto de *normalidade* dos resíduos foi utilizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, no qual a hipótese nula é de que os resíduos seguem um distribuição normal com média  $\mu$  e variância  $\sigma^2$ . A estatística do teste é calculada pela seguinte expressão (SHAPIRO; WILK, 1965):

$$W = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

em que,  $\bar{x}$  é a média amostral (dos resíduos);  $x_i$  são os valores amostrais residuais ordenados ( $x_1$  é o menor valor) e  $b$  é um valor calculado com base nas médias, variâncias e covariâncias das estatísticas de ordem de uma amostra aleatória com  $n$  elementos de uma distribuição normal. Menores valores de  $W$  são evidências de desvio de normalidade.

Para verificar o pressuposto de *homocedasticidade* de variâncias residuais foi utilizado o teste de Breusch-Pagan, que tem como hipótese nula que as variâncias residuais são homogêneas. Esse teste é realizado, inicialmente, ajustando uma regressão linear simples com os resíduos padronizados e sua estatística é dada por (BREUSCH; PAGAN, 1979):

$$BP = \frac{SQR}{2},$$

em que,  $SQR$  é a soma dos quadrados da regressão. O valor ( $BP$ ) calculado deve ser comparado com o valor crítico da distribuição de qui-quadrado, com 1 grau de liberdade.

Para verificar a independência dos resíduos foi utilizado o teste de Durbin-Watson, que tem como hipótese nula que os resíduos são independentes. A estatística do teste é dada por (DURBIN; WATSON, 1951):

$$D = \frac{\sum_{i=2}^n (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2},$$

em que,  $\varepsilon_i$  é o resíduo relacionado à observação no tempo  $i$  e  $\varepsilon_{i-1}$  é o resíduo relacionado à observação no tempo  $i - 1$ .  $D$  é um valor entre 0 e 4. Valores calculados próximos de 0 indicam presença de autocorrelação positiva; próximos de 2 os resíduos são independentes e próximos de 4 indicam presença de autocorrelação negativa.

## 2.11 Avaliadores de qualidade

Para escolha do modelo com melhor ajuste, foram utilizados os avaliadores de qualidade critério de informação de Akaike, desvio padrão residual e coeficiente de determinação.

### Desvio padrão residual

O desvio padrão residual (DPR), é obtido pela seguinte fórmula:

$$DPR = \sqrt{QME},$$

onde

$$QME = \frac{SQR}{n - p},$$

onde,  $DPR$  é o desvio padrão residual,  $QME$  é o quadrado médio dos resíduos,  $SQR$  soma dos quadrados dos resíduos,  $n$  é o tamanho da amostra e  $p$  é o número de parâmetros. O modelo que apresentar menor valor de  $DPR$ , é considerado como melhor modelo.

### **Critério de informação de Akaike**

O critério de informação de Akaike ( $AIC$ ) (AKAIKE, 1974), é uma estatística de comparação entre modelos e pode ser estimado pela seguinte expressão:

$$AIC = -2\log L(\hat{\theta}) + 2p,$$

em que  $\log L(\hat{\theta})$  é o logaritmo da função de máxima verossimilhança e  $p$  é o número de parâmetros do modelo. Aquele que apresentar o menor valor de  $AIC$ , será considerado o melhor modelo ajustado.

### **Coefficiente de determinação**

Para comparar os ajustes dos modelos, também foi utilizado o coeficiente de determinação  $R^2$ , o qual é dado pela expressão:

$$R^2 = 1 - \frac{SQR}{SQT},$$

em que  $SQR$  se refere à soma de quadrados dos resíduos e  $SQT$ , à soma de quadrado total. O modelo que apresentar maior valor de  $R^2$  é considerado o melhor ajustado.

## **2.12 Intervalo de confiança para os parâmetros**

Quando aceita-se  $H_0$  no teste de Shapiro-Wilk, o intervalo de confiança é construído da seguinte forma.

$$IC(\theta_i)_{1-\alpha} = \hat{\theta}_i \pm t_{(v; \frac{\alpha}{2})} \sqrt{V \hat{ar}(\hat{\theta}_i)},$$

em que,  $\hat{\theta}_i$  corresponde a estimativa do parâmetro  $\theta_i$ ;  $v$  é o número de grau de liberdade ( $v = n - p$ ) do resíduo;  $t_{(v; \frac{\alpha}{2})}$  é o quantil superior da distribuição  $t$  de Student;  $\alpha$  é o nível de significância;



$V\hat{ar}(\hat{\theta}_i)$  é a estimativa da variância da estimativa do parâmetro  $\theta_i$  obtida da diagonal da matriz assintótica de variâncias e covariâncias e  $IC$  são os resultados encontrados para o limite inferior ( $LI$ ) e superior ( $LS$ ) (DRAPER; SMITH, 1998).

### 3 METODOLOGIA

Para realização deste trabalho foram utilizados os dados de acúmulo de macronutrientes na chicória obtidos por Feltrim et al. (2008), em um experimento conduzido à campo, na UNESP em Jaboticabal, local que o solo, de acordo com Oliveira et al. (1999), é um Latossolo Vermelho Eutroférico típico de textura muito argilosa.

O delineamento experimental adotado foi o de parcelas subdivididas, com 4 repetições. Na parcela, os quatro tratamentos constituíram-se de duas cultivares de chicória crespa (Chicória Crespa e AF-218) em dois sistemas de cultivo (com e sem tecido de polipropileno) e nas subparcelas as idades das plantas (7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após o transplântio).

Inicialmente o cultivo se deu em ambiente controlado, e 25 dias após a semeadura, houve o transplântio das mudas para o campo. O conteúdo acumulado de macronutrientes foi anotado nas idades de 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após o transplântio.

Para verificar se as pressuposições básicas para modelos de regressão em relação aos resíduos foram atendidas, foram realizados os testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan. Para a escolha do melhor modelo foram utilizados os avaliadores de qualidade sobre os ajustes dos modelos Logístico 2.3 e Gompertz 2.4. Também foram obtidas as estimativas para os parâmetros do modelo, assim como seus intervalos de confiança. Os resultados estão mostrados nas tabelas deste capítulo.

#### 3.1 Método

Foi analisado o conteúdo acumulado de macronutrientes (Nitrogênio, Potássio, Fósforo, Cálcio, Magnésio e Enxofre), em mg/planta, que foi anotado aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após o transplântio. Para isso foram utilizados os modelos de regressão não linear Logístico (2.3) e Gompertz (2.4).

Os modelos foram ajustados pelo método de mínimos quadrados utilizando o algoritmo de Gauss-Newton por meio do software R Core Team (2021). Para avaliar a qualidade dos ajustes foram utilizados os valores dos coeficientes de determinação, do desvio padrão residual e de Akaike.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados dos ajustes realizados aos modelos não-lineares, bem como os resultados dos avaliadores de qualidade, as estimativas de seus parâmetros e seus respectivos intervalos de confiança.

### 4.1 Nitrogênio

Nesta seção estão os resultados das análises feitas aos dados de acúmulo de Nitrogênio em mg/planta em plantas de chicória, bem como as análises de resíduos, testes de qualidade e ajustes dos modelos.

A tabela 4.1 mostra os resultados das análises dos resíduos dos ajustes dos modelos. Podemos observar que ela não apresenta os resultados para as análises de resíduos para a cultivar AF-218 Coberta no modelo Gompertz, isso por que o método iterativo não convergiu. Pode-se observar também que o teste de Shapiro-wilk foi significativo (valor-p < 0,05) somente para o Crespa Descoberta no modelo Gompertz. Nessa situação, não se pode dizer que a pressuposição de que os resíduos são normalmente distribuídos é verdadeira.

O teste de Durbin-Watson foi significativo apenas para a cultivar Crespa Coberta no modelo Gompertz (valor-p < 0,05). Para as demais análises, as pressuposições foram atendidas.

Tabela 4.1 – Valor-P dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan aplicados aos resíduos dos modelos Logístico e Gompertz ajustados aos dados de Nitrogênio, das quatro cultivares.

Modelo	Cultivar	Shapiro -Wilk	Durbin -Watson	Breusch -Pagan
<b>Logístico</b>	AF-218 Coberta	0,1023	0,9420	0,6618
	AF-218 Descoberta	0,9990	0,3940	0,3070
	Crespa Coberta	0,8394	0,4920	0,1639
	Crespa Descoberta	0,3340	0,8620	0,6753
<b>Gompertz</b>	AF-218 Coberta			
	AF-218 Descoberta	0,6355	0,2720	0,1615
	Crespa Coberta	0,9780	<b>0,0320</b>	0,2216
	Crespa Descoberta	<b>0,0030</b>	1,0000	0,7040

Fonte: Autor (2022)

A Tabela 4.2 apresenta os resultados dos avaliadores de qualidade para os ajustes dos modelos Logístico e Gompertz para os dados de acúmulo de Nitrogênio em mg/planta. Pode-se observar que para as cultivar AF-218 Descoberta e Crespa Descoberta o modelo que melhor se

ajustou, apresentando menores valores de *AIC* e para o *DPR*, e maior valor de  $R^2$  foi o Logístico. Para a cultivar AF-218 Coberta podemos considerar o Logístico como melhor ajustado, uma vez que o método iterativo não convergiu para o modelo Gompertz.

Ainda na tabela 4.2, observa-se que para a cultivar Crespa Coberta o modelo que melhor se ajustou foi o Gompertz, apresentando menores valores de *AIC* e para o *DPR*, e maior valor para o  $R^2$ .

Tabela 4.2 – Avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de acúmulo de Nitrogênio (mg/planta).

Cultivar	Modelo	AIC	DPR	R <sup>2</sup>
AF-218 Coberta	Logístico	64,5050	37,9500	0,9949
	Gompertz			
AF-218 Descoberta	Logístico	65,0490	39,7100	0,9901
	Gompertz	69,3863	57,0100	0,9798
Crespa Coberta	Logístico	49,0758	10,4900	0,9993
	Gompertz	45,4356	7,7470	0,9996
Crespa Descoberta	Logístico	60,3465	26,8400	0,9963
	Gompertz	63,3968	34,6100	0,9942

Fonte: Autor (2022)

A tabela 4.3 mostra as estimativas para os parâmetros dos modelos, bem como seus respectivos intervalos de confiança. Podemos ver que não houve nenhum parâmetro nulo, ou seja, não há o elemento zero no intervalo de confiança. Dessa forma dizemos que todas as estimativas são significativas.

Observa-se na Tabela 4.3 que, o acúmulo máximo para a cultivar AF-218 Coberta foi de aproximadamente 866,61 mg/planta, e o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente por volta dos 28,35 dias, para a cultivar AF-218 Descoberta o acúmulo máximo foi de aproximadamente 731,00 mg/planta, e o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 30,9 dias.

Podemos ver também na Tabela 4.3 que o acúmulo máximo de nitrogênio para a cultivar Crespa Coberta foi de aproximadamente 2804,00 mg/planta e o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 47,05 dias, e o acúmulo máximo de nitrogênio para a cultivar Crespa Descoberta foi de aproximadamente 766,6540 mg/planta e que o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 31,44 dias.

De acordo com a tabela 4.3 não houve diferença significativa entre o acúmulo máximo de nitrogênio nas cultivares AF-218 Coberta, AF-218 Descoberta e Crespa Descoberta, isso por que há interseção entre seus intervalos de confiança. Em relação ao ponto de inflexão, a cultivar AF-218 Coberta mostrou-se mais precoce que as cultivares Crespa coberta e Crespa descoberta.

Tabela 4.3 – Estimativas dos parâmetros para os modelos ajustados aos dados de acúmulo de Nitrogênio em mg/planta

Modelo Logístico - AF-218 Coberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	792,5553	866,6176	940,6799
$\beta$	27,2870	28,3494	29,4119
$\kappa$	0,2056	0,3876	0,5696
Modelo Logístico - AF-218 Descoberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	605,4385	731,0036	856,5686
$\beta$	28,5781	30,9086	33,2390
$\kappa$	0,1468	0,2671	0,3875
Modelo Gompertz - Crespa Coberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	1725,0000	2804,0000	3883,1000
$\beta$	39,4580	47,0500	54,6500
$\kappa$	0,0361	0,0458	0,0555
Modelo Logístico - Crespa Descoberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	701,2607	766,6540	832,0473
$\beta$	30,3661	31,4454	32,5246
$\kappa$	0,2735	0,3711	0,4686

Fonte: Autor (2022)

A Figura 4.1, mostra os ajustes dos modelos para os dados de acúmulo de Nitrogênio em mg/planta para as quatro cultivares.

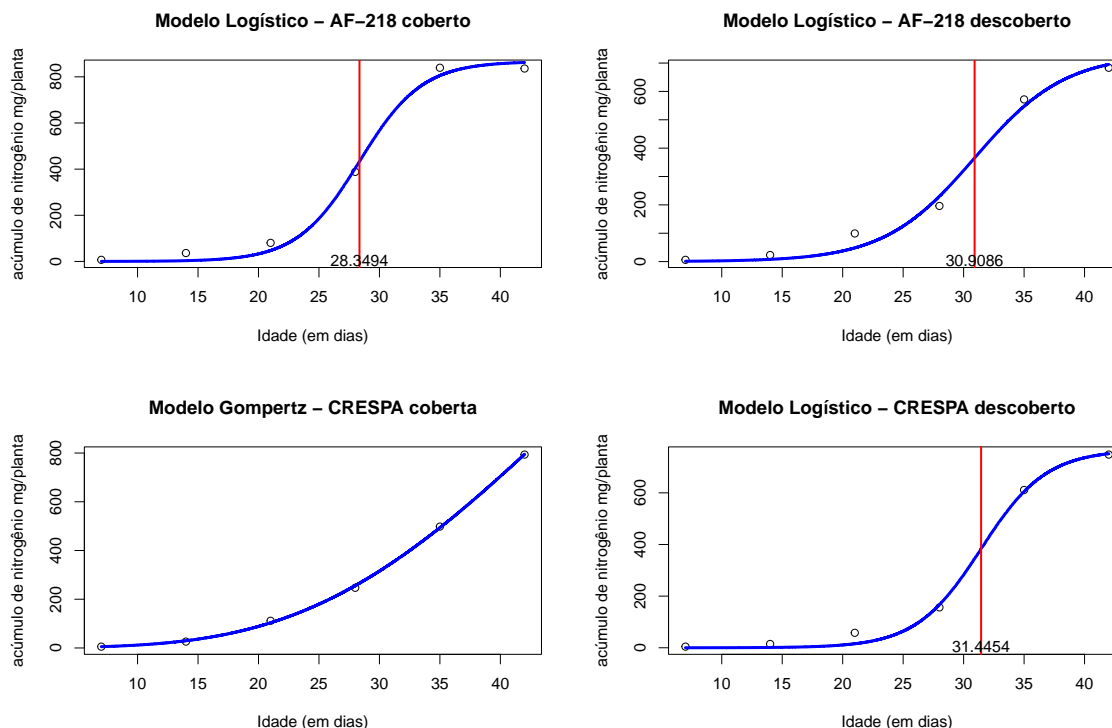
Para as cultivares que tiveram como melhor ajuste o modelo Logístico 2.3, podemos observar um crescimento lento até os 21 dias (metade do período de cultivo após o transplântio), depois desse período temos um rápido crescimento no acúmulo do macronutriente. Katayama (1993) observou que na cultura da alface, o crescimento e acúmulo de nitrogênio foi lento até 30 dias após a emergência, aumentando rapidamente após esse período.

Feltrim et al. (2008) afirmam que até os 21 dias após o transplante, o acúmulo de Nitrogênio foi muito pequeno para todas as cultivares, representando no caso da cultivar “AF-218” apenas 5% do acúmulo até os 42 dias (colheita final).

Para a cultivar “Crespa Coberta”, que se ajustou melhor ao modelo de Gompertz, vemos uma curva que se assemelha a uma exponencial até os 42 dias (colheita final), isso ocorre pelo fato de que a cultivar ainda está na fase de crescimento e ainda não atingiu o ponto de inflexão.

Feltrim et al. (2008) ajustou um modelo Logístico à cultivar “Crespa Coberta” e observou um comportamento semelhante às demais cultivares. Aqui o melhor ajuste foi do modelo Gompertz 2.4, e podemos observar que do primeiro dia após o transplântio até o dia da colheita

Figura 4.1 – Ajustes dos modelos que dos dados de acúmulo de Nitrogênio.



Fonte: Autor (2022)

final tivemos um crescimento semelhante ao exponencial, em que a velocidade de acúmulo de Nitrogênio aumenta cada vez mais rápido a cada semana.

## 4.2 Potássio

Aqui serão mostrados os resultados das análises feitas aos dados de acúmulo de Potássio em mg/planta em plantas de chicória, bem como as análises de resíduos, testes de qualidade e ajustes dos modelos.

Observando a Tabela 4.4 pode-se perceber que, o teste de Shapiro -Wilk para a cultivar AF-218 Coberta no modelo Logístico foi significativo (valor-p < 0,05), sendo assim não podemos afirmar que a pressuposição de normalidade dos resíduos é verdadeira. Para as demais análises todas as pressuposições foram atendidas (valor-p > 0,05). Ainda na Tabela 4.4 pode-se observar que as pressuposições de normalidade, homocedasticidade e independência dos resíduos foram todas atendidas (valor-p > 0,05).

A Tabela 4.5 apresenta os resultados dos avaliadores de qualidade para os ajustes dos modelos Logístico e Gompertz para os dados de acúmulo de Potássio.

Tabela 4.4 – Valor-P dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan aplicados aos resíduos dos modelos Logístico e Gompertz ajustados aos dados de Potássio, das quatro cultivares.

Modelo	Cultivar	Shapiro -Wilk	Durbin -Watson	Breusch -Pagan
<b>Logístico</b>	AF-218 Coberta	<b>0,0393</b>	0,6460	0,7459
	AF-218 Descoberta	0,9780	0,9100	0,2104
	Crespa Coberta	0,8283	0,9880	0,2027
	Crespa Descoberta	0,9241	0,8420	0,4860
<b>Gompertz</b>	AF-218 Coberta	0,5948	0,9040	0,7862
	AF-218 Descoberta	0,9985	0,7360	0,1907
	Crespa Coberta	0,5095	0,8120	0,1953
	Crespa Descoberta	0,1770	0,8280	0,6694

Fonte: Autor (2022)

Podemos ver na Tabela 4.5 que para as quatro cultivares, o modelo que melhor se ajustou aos dados de acúmulo de Potássio foi o modelo Logístico, apresentando nos quatro casos, menores valores de *AIC* e *DPR*, e maior valor para  $R^2$ .

Tabela 4.5 – Avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de acúmulo de Potássio (mg/planta).

Cultivar	Modelo	AIC	DPR	$R^2$
AF-218 Coberta	Logístico	54,2317	16,1200	0,9972
	Gompertz	60,1205	26,3400	0,9930
AF-218 Descoberta	Logístico	55,5881	18,0500	0,9923
	Gompertz	58,4826	22,9800	0,9880
Crespa Coberta	Logístico	53,0236	14,5800	0,9977
	Gompertz	58,8594	23,7100	0,9940
Crespa Descoberta	Logístico	47,6761	9,3370	0,9982
	Gompertz	51,3314	12,6600	0,9967

Fonte: Autor (2022)

A Tabela 4.6 mostra a estimativa para os parâmetros do ajuste do modelo Logístico para os dados de acúmulo de Potássio na cultivar para as quatro cultivares. Pode-se ver que todas as estimativas foram significativas, pois nenhum dos intervalos de confiança apresenta valor nulo.

Na tabela 4.6 podemos ver que o acúmulo máximo para a cultivar AF-218 Coberta foi de aproximadamente 528,74 mg/planta e o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 29,06 dias. O acúmulo máximo de Potássio para a cultivar AF-218 Descoberta foi de aproximadamente 462,61 mg/planta, e o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 35,34 dias.

Tabela 4.6 – Estimativas dos parâmetros para os modelos ajustados aos dados de acúmulo de Potássio em mg/planta.

Modelo Logístico - AF-218 Coberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	490,3196	528,7404	567,1612
$\beta$	28,0630	29,0610	30,0590
$\kappa$	0,2260	0,3077	0,3894
Modelo Logístico - AF-218 Descoberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	325,2453	462,6087	599,9722
$\beta$	31,8170	35,3351	38,8532
$\kappa$	0,1264	0,2333	0,3403
Modelo Logístico - Crespa Coberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	572,3111	669,8714	767,43170
$\beta$	32,3278	34,2281	36,1284
$\kappa$	0,1651	0,2143	0,2634
Modelo Logístico - Crespa Descoberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	411,2809	463,7082	516,1356
$\beta$	34,0005	35,1808	36,3611
$\kappa$	0,2194	0,3544	0,2869

Fonte: Autor (2022)

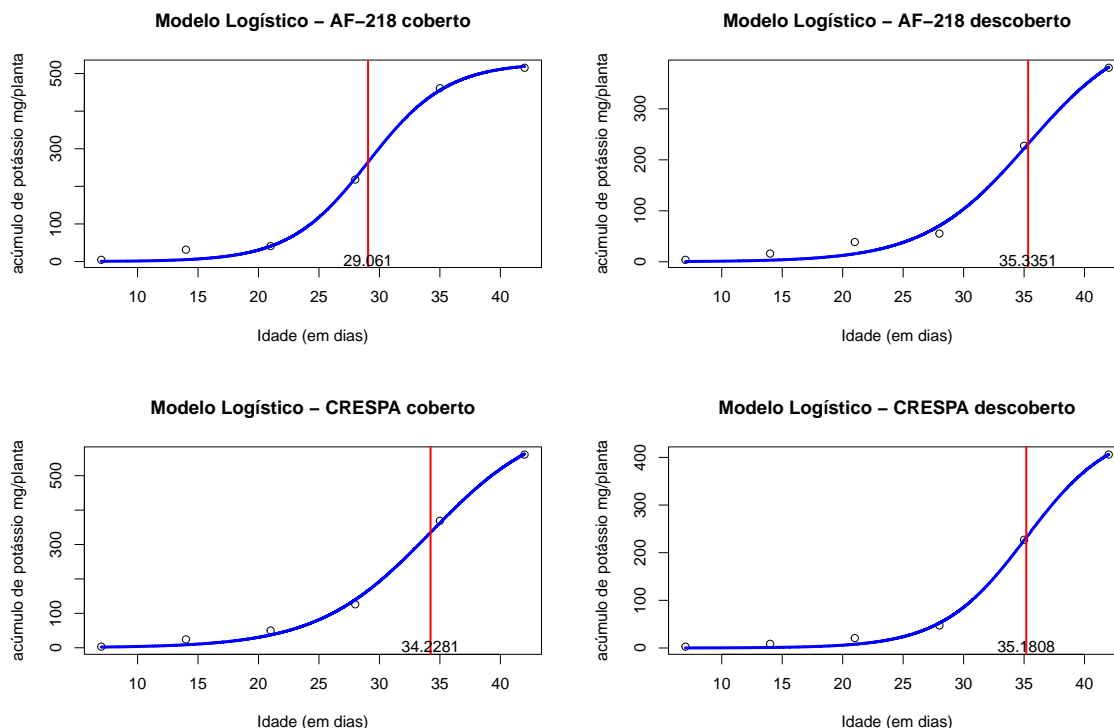
Ainda na tabela 4.6 podemos ver que o acúmulo máximo de Potássio na cultivar Crespa Coberta foi de 669,87 mg/planta, e o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 34,22 dias. O acúmulo máximo para a cultivar Crespa Descoberta foi de aproximadamente 463,7 mg/planta, e que o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 35,18 dias.

Entre as estimativas apresentadas na tabela 4.6, podemos notar que houve diferença no acúmulo máximo de Potássio apenas entre as cultivares Crespa Coberta e Crespa Descoberta, onde a primeira apresenta um acúmulo maior. As demais cultivares se igualaram à Crespa Coberta, pois houve interseção entre seus intervalos de confiança. Em relação ao ponto de inflexão, apenas a cultivar AF-218 Coberta se difere das demais, onde esta apresenta ponto de inflexão mais precoce.

Na Figura 4.2, pode-se observar os ajustes do modelo Logístico aos dados de acúmulo de Potássio em mg/planta para as quatro cultivares.



Figura 4.2 – Ajustes dos modelos que se ajustaram melhor aos dados de acúmulo de Potássio.



Fonte: Autor (2022)

Observando os dois tipos de chicória na figura 4.2, podemos observar que quando coberto com tecido de polipropileno, temos um acúmulo maior, além das cultivares atingirem a metade do acúmulo um pouco antes. Apesar disso, não houve diferença significativa entre os acúmulos máximos, pois há interseção nos seus intervalos de confiança. Feltrim et al. (2008) observaram que quando coberto com tecido de polipropileno, o acúmulo de potássio foi superior à cultivar sem cobertura.

Na figura 4.2, podemos ver que para a cultura “AF-218”, o acúmulo de Potássio foi maior, e alcançou a metade do acúmulo (ponto de inflexão) alguns dias antes de que quando cultivada sem cobertura. O mesmo ocorre para a cultura de chicória “Crespa”. Fato esse que pode indicar que em termos de acúmulo de Potássio o cultivo coberto é mais eficiente.

### 4.3 Fósforo

Aqui serão mostrados os resultados das análises feitas aos dados de acúmulo de Fósforo em mg/planta em plantas de chicória, bem como as análises de resíduos, testes de qualidade e ajustes dos modelos.

Para as análises dos resíduos nos ajustes dos modelos Logístico e Gompertz para os dados de acúmulo de Fósforo, podemos observar na tabela 4.7 que as pressuposições de normalidade (teste de Shapiro-Wilk), homocedasticidade (teste de Durbin-Watson) e independência (teste de Breusch-Pagan) foram todas atendidas (valor-p > 0,05).

Tabela 4.7 – Valor-P dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan aplicados aos resíduos dos modelos Logístico e Gompertz ajustados aos dados de Fósforo, das quatro cultivares.

Modelo	Cultivar	Shapiro -Wilk	Durbin -Watson	Breusch -Pagan
<b>Logístico</b>	AF-218 Coberta	0,8356	0,8660	0,7296
	AF-218 Descoberta	0,8730	0,2940	0,3811
	Crespa Coberta	0,5203	0,8220	0,1168
	Crespa Descoberta	0,9649	0,9000	0,2258
<b>Gompertz</b>	AF-218 Coberta	0,0292	0,8220	0,5725
	AF-218 Descoberta	0,9204	0,1780	0,1184
	Crespa Coberta	0,2234	0,6400	0,1499
	Crespa Descoberta	0,9811	0,8980	0,3970

Fonte: Autor (2022)

A Tabela 4.8 apresenta os resultados dos avaliadores de qualidade para os ajustes dos modelos logístico e Gompertz para os dados de acúmulo de fósforo. Podemos observar que para as quatro cultivares o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o modelo Logístico, que apresentou menores valores para *AIC* e *DPR* e maior valor de  $R^2$ .

Tabela 4.8 – Avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de acúmulo de Fósforo (mg/planta).

Cultivar	Modelo	AIC	DPR	$R^2$
AF-218 Coberta	Logístico	29,4486	2,0440	0,9976
	Gompertz	34,8395	3,2040	0,9945
AF-218 Descoberta	Logístico	33,6880	2,9100	0,9817
	Gompertz	36,9355	3,8150	0,9682
Crespa Coberta	Logístico	23,2308	1,2180	0,9986
	Gompertz	30,5653	2,2440	0,9953
Crespa Descoberta	Logístico	20,3559	0,9582	0,9988
	Gompertz	27,1287	1,6850	0,9965

Fonte: Autor (2022)

A tabela 4.9 mostra os intervalos de confiança para os parâmetros dos modelos, nota-se que as estimativas foram todas significativas, pois não há valor nulo em nenhum dos intervalos de confiança.

Tabela 4.9 – Estimativas dos parâmetros para os modelos ajustados aos dados de acúmulo de Fósforo em mg/planta.

Modelo Logístico - AF-218 Coberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	63,4249	67,3183	71,2116
$\beta$	27,5564	28,2611	28,9658
$\kappa$	0,2645	0,4000	0,5354
Modelo Logístico - AF-218 Descoberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	29,7986	37,9492	46,0999
$\beta$	26,6520	29,6841	32,7163
$\kappa$	0,0978	0,2695	0,4412
Modelo Logístico - Crespa Coberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	64,0022	72,0681	80,1340
$\beta$	32,4912	33,9881	35,4850
$\kappa$	0,1723	0,2089	0,2455
Modelo Logístico - Crespa Descoberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	55,1386	60,7306	66,3226
$\beta$	33,5038	34,5832	35,6627
$\kappa$	0,2072	0,2489	0,2906

Fonte: Autor (2022)

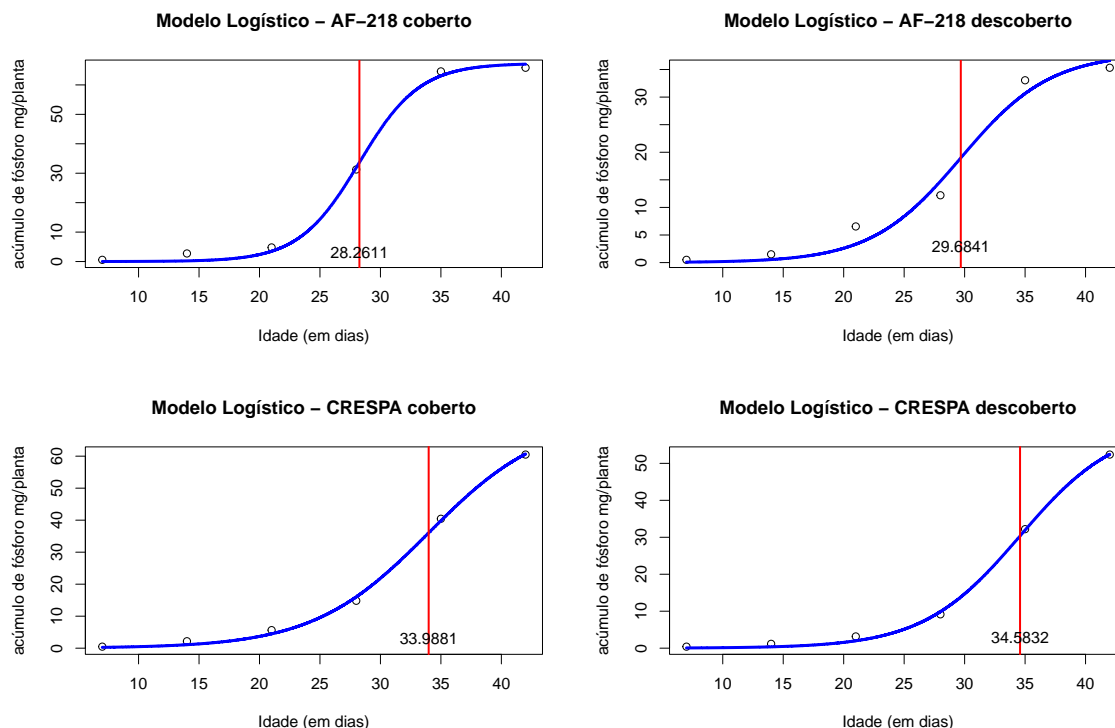
Na Tabela 4.9, podemos observar que o acúmulo máximo de Fósforo (mg/planta) na cultivar AF-218 Coberta para o modelo Logístico foi de aproximadamente 67,32 mg/planta, e que o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 28,26 dias. O acúmulo máximo de Fósforo para o modelo Logístico na cultivar AF-218 Descoberta foi de aproximadamente 37,95 mg/planta, e que o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 29,68 dias.

Ainda na Tabela 4.9, observa-se que o acúmulo máximo de Fósforo para a cultivar Crespa Coberta foi de aproximadamente 72,07 mg/planta, e que o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 33,99 dias. O acúmulo máximo para o modelo Logístico na cultivar Crespa Descoberta foi de aproximadamente 60,73 mg/planta, e que o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 34,58 dias.

Pode-se notar que a cultivar AF-218 Descoberta foi a que teve menor acúmulo de Fósforo, não havendo diferença significativa entre as demais, onde as mesmas tiveram acúmulo maior. Em relação ao ponto de inflexão podemos destacar que a cultivar AF-218 Coberta foi mais precoce que as demais que não diferiram significadamente entre si.

Na Figura 4.3 temos os ajustes do modelo Logístico para os dados de acúmulo de Fósforo (mg/planta) para as quatro cultivares.

Figura 4.3 – Ajustes dos modelos que se ajustaram melhor aos dados de acúmulo de Fósforo.



Fonte: Autor (2022)

Observando a figura 4.3, vemos que a cultivar “AF-218” mostrou-se mais precoce e maior acúmulo em relação à “Crespa”. Analisando agora “AF-218 Coberta” e “AF-218 Descuberta” vemos que quando coberta com tecido de Polipropileno apresenta maior acúmulo e ponto de inflexão mais cedo.

Feltrim et al. (2005) observou que para o acúmulo de Fósforo as cultivares apresentaram comportamento bem distinto quanto ao uso do tecido de polipropileno. A cultivar “AF-218” coberta com tecido de polipropileno apresentou maior acúmulo de Fósforo aos 28 e 35 dias, em relação aos outros tratamentos.

Podemos observar, pela figura 4.3, que os acúmulos máximos nas cultivares “AF-218 Coberta”, “Crespa Coberta” e “Crespa Descuberta” foram bem semelhantes. Não apresentando diferença quanto à cobertura com tecido de polipropileno.

#### 4.4 Cálcio

Aqui serão mostrados os resultados das análises feitas aos dados de acúmulo de Cálcio em mg/planta em plantas de chicória, bem como as análises de resíduos, testes de qualidade e ajustes dos modelos.

Na tabela 4.10 podemos observar que não são mostrados resultados dos testes para os resíduos na cultivar Crespa Descoberta, tanto no modelo Logístico quanto no modelo de Gompertz, isso por que ambos os modelos não convergiram. Para as demais cultivares podemos perceber que todos os pressupostos para as análise de resíduos foram atendidos (valor-p > 0,05).

Tabela 4.10 – Valor-P dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan aplicados aos resíduos dos modelos Logístico e Gompertz ajustados aos dados de Cálcio, das quatro cultivares.

Modelo	Cultivar	Shapiro -Wilk	Durbin -Watson	Breusch -Pagan
<b>Logístico</b>	AF-218 Coberta	0,2878	0,7300	0,5160
	AF-218 Descoberta	0,9535	0,9860	0,2301
	Crespa Coberta	0,6689	0,8680	0,2200
	Crespa Descoberta			
<b>Gompertz</b>	AF-218 Coberta	0,0231	0,4320	0,5214
	AF-218 Descoberta	0,3908	0,8680	0,6278
	Crespa Coberta	0,7293	0,9520	0,1701
	Crespa Descoberta			

Fonte: Autor (2022)

A Tabela 4.11 apresenta os resultados dos avaliadores de qualidade para os ajustes dos modelos logístico e Gompertz para os dados de acúmulo de cálcio em mg/planta.

Tabela 4.11 – Avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de acúmulo de Cálcio (mg/planta).

Cultivar	Modelo	AIC	DPR	R <sup>2</sup>
AF-218 Coberta	Logístico	56,0542	18,7700	0,9807
	Gompertz	56,7814	19,9400	0,9790
AF-218 Descoberta	Logístico	50,8061	12,1200	0,9888
	Gompertz	53,2885	14,9000	0,9843
Crespa Coberta	Logístico	46,3768	8,3790	0,9957
	Gompertz	48,4667	9,9730	0,9940
Crespa Descoberta	Logístico			
	Gompertz			

Fonte: Autor (2022)

Podemos observar que para as cultivares AF-218 Coberta, AF-218 Descoberta e Crespa Coberta o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o modelo Logístico, que apresentou menores valores para *AIC* e *DPR* e maior valor de  $R^2$ . Para a cultivar Crespa Descoberta, nenhum dos modelos convergiu.

Na Tabela 4.12 mostra as estimativas para os parâmetros do modelo Logístico, ajustado para dados de acúmulo de Cálcio (mg/planta). Pode-se notar que nenhum dos intervalos de confiança teve valor nulo, portanto as estimativas foram significativas.

Tabela 4.12 – Estimativas dos parâmetros para os modelos ajustados aos dados de acúmulo de Cálcio em mg/planta.

Modelo Logístico - AF-218 Coberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	169,6428	210,0969	250,5510
$\beta$	27,5095	30,1094	32,7094
$\kappa$	0,0620	0,4419	0,8218
Modelo Logístico - AF-218 Descoberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	169,1537	241,7718	314,3899
$\beta$	31,0683	34,6146	38,1610
$\kappa$	0,1141	0,2455	0,3770
Modelo Logístico - Crespa Coberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	159,4678	386,9710	614,4740
$\beta$	32,8884	39,2985	45,7087
$\kappa$	0,1155	0,2085	0,3015

Fonte: Autor (2022)

Podemos observar, pela tabela 4.12 que não tivemos nenhum parâmetro nulo, ou seja, as estimativas para os parâmetros foram todas significativas.

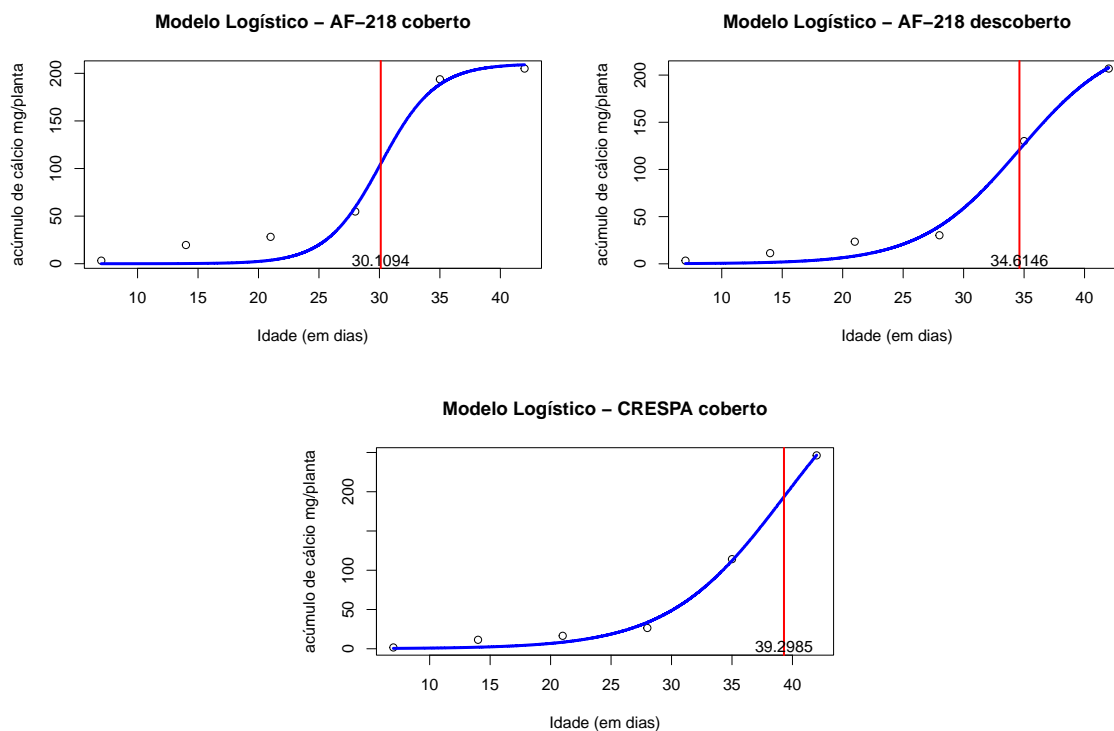
Podemos observar que o acúmulo máximo para a cultivar AF-218 Coberta foi de aproximadamente 210,09 mg/planta, e que o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 30,11 dias. Para a cultivar AF-218 Descoberta o acúmulo máximo foi de aproximadamente 241,77 mg/planta, e o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 34,61 dias.

Ainda na tabela 4.12, pode-se observar que para a cultivar Crespa Coberta o acúmulo máximo foi de aproximadamente 386,97 mg/planta, e que o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 39,30 dias. Para Crespa Descoberta não houve convergência.

Observa-se que não houve diferença significativa entre as estimativas dos parâmetros dos modelos, isso por que há interseção entre seus intervalos de confiança, com exceção do

parâmetro  $\beta$  entre as cultivares AF-218 Coberta e Crespa Coberta onde a primeira apresenta ponto de inflexão mais precoce.

Figura 4.4 – Ajustes dos modelos que se ajustaram melhor aos dados de acúmulo de Cálcio.



Fonte: Autor (2022)

A Figura 4.4, mostra os modelos ajustados para os dados de acúmulo de Cálcio em mg/planta para as quatro cultivares.

Feltrim et al. (2005) observou que o acúmulo de Cálcio (Ca) não diferiu entre os tratamentos na colheita. O autor afirma que a causa dos tratamentos terem resultados próximos, seja as pulverizações foliares com nitrato de Cálcio a  $2,5 \text{ gL}^{-1}$  para a correção da deficiência, constatada a partir de 29 dias após o transplântio.

#### 4.5 Magnésio

Aqui serão mostrados os resultados das análises feitas aos dados de acúmulo de Magnésio em mg/planta em plantas de chicória, bem como as análises de resíduos, testes de qualidade e ajustes dos modelos.

Para os dados de acúmulo de Magnésio percebe-se pela tabela 4.13 que, para o modelo Logístico, todos os pressupostos para as análise dos resíduos foram atendidos (valor-p  $> 0,05$ ).

Para o modelo Gompertz apenas o teste de Shapiro-Wilk foi significativo, para a cultivar AF-218 Coberta, (valor-p < 0,05), sendo assim, não podemos afirmar que a pressuposição de normalidade dos resíduos é verdadeira.

Tabela 4.13 – Valor-P dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan aplicados aos resíduos dos modelos Logístico e Gompertz ajustados aos dados de Magnésio, das quatro cultivares.

Modelo	Cultivar	Shapiro -Wilk	Durbin -Watson	Breusch -Pagan
<b>Logístico</b>	AF-218 Coberta	0,4235	0,7480	0,6068
	AF-218 Descoberta	0,9159	0,5100	0,2226
	Crespa Coberta	0,4264	0,4400	0,2443
	Crespa Descoberta	0,9729	0,8920	0,1961
<b>Gompertz</b>	AF-218 Coberta	<b>0,0208</b>	0,8240	0,5538
	AF-218 Descoberta	0,4478	0,3100	0,1354
	Crespa Coberta	0,1396	0,4760	0,2677
	Crespa Descoberta	0,9029	0,7840	0,1363

Fonte: Autor (2022)

A Tabela 4.14 apresenta os resultados dos avaliadores de qualidade para os ajustes dos modelos logístico e Gompertz para os dados de acúmulo de magnésio em mg/planta.

Tabela 4.14 – Avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de acúmulo de Magnésio (mg/planta).

Cultivar	Modelo	AIC	DPR	R <sup>2</sup>
AF-218 Coberta	Logístico	41,9318	5,7850	0,9958
	Gompertz	45,8811	8,0400	0,9925
AF-218 Descoberta	Logístico	45,3925	7,7190	0,9830
	Gompertz	48,1675	9,7270	0,9725
Crespa Coberta	Logístico	28,3280	1,8620	0,9991
	Gompertz	32,2574	2,5830	0,9983
Crespa Descoberta	Logístico	31,3031	2,3860	0,9989
	Gompertz	35,4176	3,3620	0,9978

Fonte: Autor (2022)

Podemos observar que para as quatro cultivares o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o modelo Logístico, que apresentou menores valores para *AIC* e *DPR* e maior valor de *R*<sup>2</sup>.

A tabela 4.15 mostra as estimativas para os parâmetros do modelo Logístico, ajustado para dados de acúmulo de Magnésio (mg/planta). Podemos observar na tabela 4.15 que nenhum dos parâmetros foi nulo, ou seja, todos as estimativas dos parâmetros foram significativos.



Tabela 4.15 – Estimativas dos parâmetros para os modelos ajustados aos dados de acúmulo de Magnésio em mg/planta.

Modelo Logístico - AF-218 Coberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	135,1076	147,8313	160,5550
$\beta$	28,2266	29,3494	30,4721
$\kappa$	0,2305	0,3749	0,5194
Modelo Logístico - AF-218 Descoberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	82,3764	115,6143	148,8523
$\beta$	28,8357	32,5893	36,3428
$\kappa$	0,0971	0,2418	0,3865
Modelo Logístico - Crespa Coberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	158,6898	242,7889	326,8881
$\beta$	36,9817	41,5784	46,1752
$\kappa$	0,1240	0,1495	0,1750
Modelo Logístico - Crespa Descoberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	152,2504	203,0510	253,8516
$\beta$	35,8560	38,5621	41,2684
$\kappa$	0,1712	0,2203	0,2695

Fonte: Autor (2022)

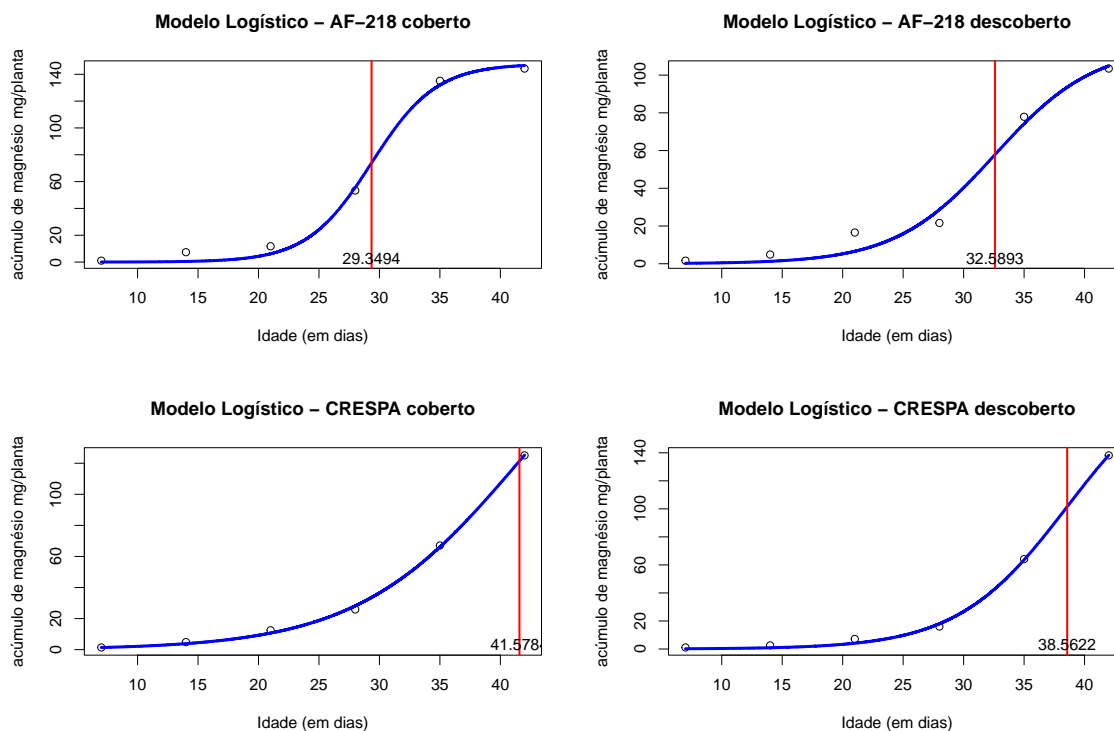
Observa-se que o acúmulo máximo para a cultivar AF-218 Coberta foi de aproximadamente 147,83 mg/planta, e que o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 29,35 dias. Observa-se também que o acúmulo máximo para a cultivar AF-218 Descoberta foi de aproximadamente 115,61 mg/planta, e que o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 32,59 dias.

Ainda na tabela 4.15 podemos observar que o acúmulo máximo para a cultivar Crespa Coberta foi de aproximadamente 252,79 mg/planta, e que o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 41,57 dias. Também podemos observar que o acúmulo máximo para a cultivar Crespa Descoberta foi de aproximadamente 203,05 mg/planta, e que o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 38,56 dias.

Observa-se que, de acordo com os intervalos de confiança, houve diferença significativa no acúmulo máximo entre a cultivar AF-218 Descoberta e as cultivares Crespa Coberta e Crespa Descoberta, onde estas tiveram acúmulo maior. Em relação ao parâmetro  $\beta$ , pode-se ver que houve diferença significativa apenas entre as cultivares AF-218 Descoberta e Crespa Coberta, onde a primeira foi mais precoce.

Na Figura 4.5 pode-se observar os ajustes do modelo Logístico para os dados de acúmulo de Magnésio em mg/planta nas quatro cultivas.

Figura 4.5 – Ajustes dos modelos que se ajustaram melhor aos dados de acúmulo de Magnésio.



Fonte: Autor (2022)

Na figura 4.5 vemos que apesar de a cultivar “AF-218 Coberta” apresentar um ponto de inflexão mais precoce que as demais, ao fim do cultivo vemos que a cultivar “Crespa Descoberta”, que teve o ponto de inflexão mais retardado, teve um acúmulo máximo semelhante ao da cultivar “AF-218 Coberta” (próximo às  $140 \text{ mg p}^{-1}$ ).

## 4.6 Enxofre

Aqui serão mostrados os resultados das análises feitas aos dados de acúmulo de Enxofre em mg/planta em plantas de chicória, bem como as análises de resíduos, testes de qualidade e ajustes dos modelos.

Na Tabela 4.16 podemos ver que todos os testes para os resíduos dos ajustes do modelo Logístico foram não significativos (valor-p  $> 0,05$ ), sendo assim, todos os pressupostos de normalidade, homocedasticidade e independência foram atendidos. Teve-se resultado significativo

(valor-p < 0,05) apenas para o teste de Shapiro-Wilk para a cultivar Crespa Descoberta, sendo assim, para essa cultivar não se pode dizer que a pressuposição de normalidade é verdadeira.

Tabela 4.16 – Valor-P dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan aplicados aos resíduos dos modelos Logístico e Gompertz ajustados aos dados de Enxofre, das quatro cultivares.

Modelo	Cultivar	Shapiro -Wilk	Durbin -Watson	Breusch -Pagan
<b>Logístico</b>	AF-218 Coberta	0,1963	0,8080	0,6352
	AF-218 Descoberta	0,9104	0,5200	0,3590
	Crespa Coberta	0,9493	0,9160	0,6889
	Crespa Descoberta	0,4731	0,8520	0,6373
<b>Gompertz</b>	AF-218 Coberta	0,3179	0,8560	0,7009
	AF-218 Descoberta	0,0650	0,8380	0,7083
	Crespa Coberta	0,5353	0,8260	0,2830
	Crespa Descoberta	<b>0,0141</b>	0,9320	0,6567

Fonte: Autor (2022)

A Tabela 4.17 apresenta os resultados dos avaliadores de qualidade para os ajustes dos modelos logístico e Gompertz para os dados de acúmulo de enxofre em mg/planta.

Tabela 4.17 – Avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de acúmulo de Enxofre (mg/planta).

Cultivar	Modelo	AIC	DPR	R <sup>2</sup>
AF-218 Coberta	Logístico	23,7259	1,2690	0,9994
	Gompertz	33,5758	2,8830	0,9972
AF-218 Descoberta	Logístico	34,2916	3,0610	0,9948
	Gompertz	39,3874	4,6800	0,9889
Crespa Coberta	Logístico	-2,1007	0,1475	0,9999
	Gompertz	28,1722	1,8380	0,9984
Crespa Descoberta	Logístico	31,0849	2,3430	0,9977
	Gompertz	33,9530	2,9750	0,9964

Fonte: Autor (2022)

Pode-se observar que para as quatro cultivares o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o modelo Logístico, que apresentou menores valores para AIC e DPR e maior valor de R<sup>2</sup>.

A tabela 4.18 mostra as estimativas dos parâmetros dos modelos, bem como seus intervalos de confiança. Pode-se observar que nenhum dos parâmetros foi nulo, portanto todas as estimativas dos parâmetros foram significativas.

Tabela 4.18 – Estimativas dos parâmetros para os modelos ajustados aos dados de acúmulo de Enxofre em mg/planta.

Modelo Logístico - AF-218 Coberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	89,2294	92,0661	94,9027
$\beta$	28,1688	28,5916	29,0143
$\kappa$	0,2769	0,3152	0,3536
Modelo Logístico - AF-218 Descoberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	69,9352	80,2798	90,6243
$\beta$	30,3377	31,9865	33,6353
$\kappa$	0,1879	0,2752	0,3624
Modelo Logístico - Crespa Coberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	95,7729	96,5466	97,3202
$\beta$	32,3791	32,4927	32,6064
$\kappa$	0,2044	0,2074	0,2104
Modelo Logístico - Crespa Descoberta			
Parâmetro	Lim. Inferior	Estimativa	Lim. Superior
$\alpha$	82,0500	88,4281	94,8063
$\beta$	32,0433	32,8571	33,6708
$\kappa$	0,2807	0,3558	0,4309

Fonte: Autor (2022)

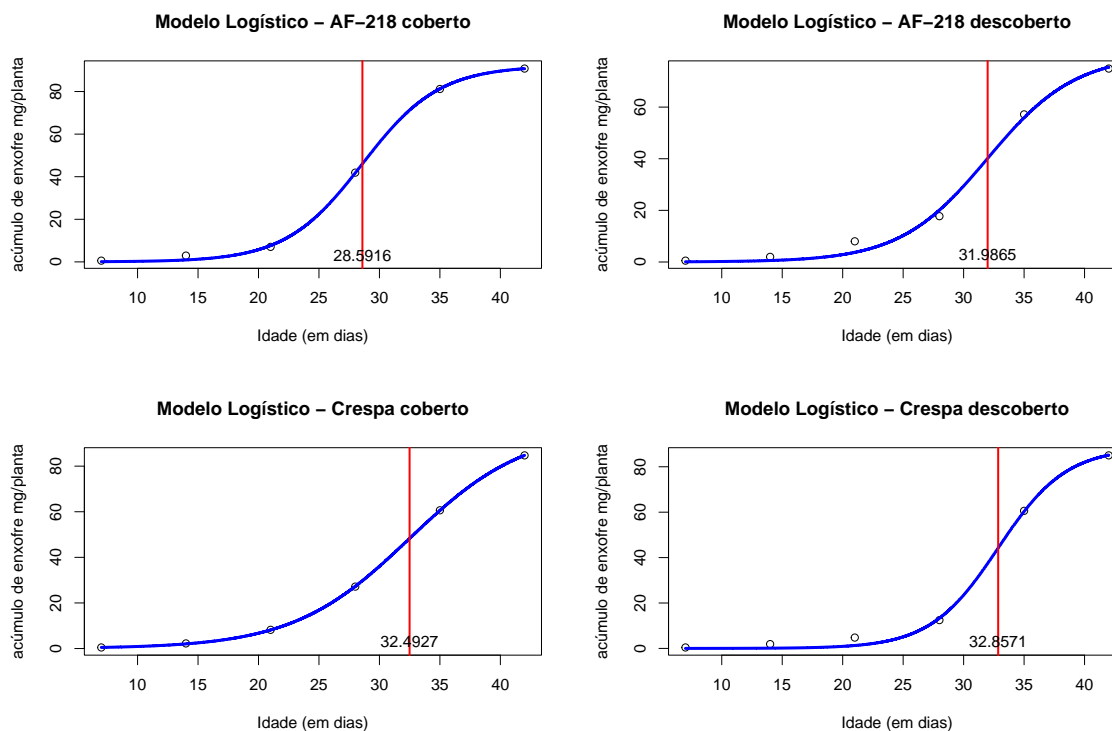
Na Tabela 4.18 mostra as estimativas para os parâmetros do modelo Logístico, ajustado para dados de acúmulo de Enxofre (mg/planta). Podemos observar que o acúmulo máximo para a cultivar AF-218 Coberta foi de aproximadamente 92,07 mg/planta, e que o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 28,59 dias. Também podemos ver que o acúmulo máximo para a cultivar AF-218 Descoberta foi de aproximadamente 80,28 mg/planta, e que o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 31,99 dias.

Ainda na tabela 4.18 podemos observar que o acúmulo máximo para a cultivar Crespa Coberta foi de aproximadamente 96,55 mg/planta, e que o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 32,49 dias. Vemos também que o acúmulo máximo para a cultivar Crespa Descoberta foi de aproximadamente 88,43 mg/planta, e que o ponto de inflexão ocorreu aproximadamente aos 32,86 dias.

Nota-se, pelos intervalos de confiança, que houve diferença significativa no acúmulo máximo entre a cultivar Crespa Coberta e as demais, onde essa teve um acúmulo maior. Já em relação ao ponto de inflexão, nota-se diferença significativa entre a cultivar AF-218 Coberta e as demais, onde essa apresentou-se mais precoce que as outras.

Na Figura 4.6, observa-se os ajustes do modelo para os dados de acúmulo de Enxofre em mg/planta para as quatro cultivares.

Figura 4.6 – Ajustes dos modelos que se ajustaram melhor aos dados de acúmulo de Enxofre.



Fonte: Autor (2022)

Na figura 4.6 observa-se que o acúmulo final das cultivares “AF-218 Coberta”, “Crespa Coberta” e “Crespa Descoberta” não diferiram, sendo semelhante (próximo aos  $90 \text{ mg } p^{-1}$ ), apesar de “AF-218 Coberta” apresentar ponto de inflexão mais precoce. “AF-218 Descoberta” apresentou acúmulo inferior aos demais.

Outros autores também utilizaram cobertura com tecido de polipropileno no cultivo de hortaliças. Otto, Reghin e Sá (2001) afirmaram que a cobertura com tecido de polipropileno teve efeito significativo em cultura de alface. Já Soares et al. (2013) afirmam que a cobertura não influenciou na cultura de tomateiro.

## 5 CONCLUSÃO

Os modelos Logístico e Gompertz se ajustaram bem aos dados de acúmulo de macronutrientes, sendo o modelo Logístico mais adequado na maioria dos casos.

Pôde-se perceber que, em grande parte dos casos, as culturas que receberam cobertura de tecido de polipropileno mostraram-se serem mais precose, em relação à seus pontos de inflexão, e acumularem mais que as demais.

Em relação ao cultivo com cobertura de tecido de polipropileno, a cultivar “AF-218” teve acúmulo máximo maior para Nitrogênio, Fósforo, Magnésio e Enxofre.

Quando cultivadas sem cobertura de polipropileno, a cultivar “Crespa” teve acúmulo máximo maior para Nitrogênio, Potássio, Fósforo, Magnésio e Enxofre. Para o Cálcio não houve comparação, pois o método iterativo não convergiu para os dados de acúmulo de cálcio na cultivar “Crespa Descoberta”.

No geral, a cultivares que receberam cobertura com tecido de polipropileno apresentaram maiores acúmulos de macronutrientes.

## REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE transactions on automatic control**, Ieee, v. 19, n. 6, p. 716–723, 1974.
- AMARO, G. B. et al. Recomendações técnicas para o cultivo de hortaliças em agricultura familiar. **Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, Embrapa Hortaliças, Brasília, DF, 2007.
- BAIS, P. H.; RAVISHANKAR, G. Cichorium intybus l – cultivation, processing, utility, value additon and biotechnology, with na emphasis on current status and future prospects. **Journal of Science of Food and Agriculture**, Englad, v. 81, p. 467–484, 2001.
- BARD, Y. **Nonlinear parameter estimation**. New York: Academic, 1974. 341 p.
- BENETT, C. G. S. et al. Influência da aplicação nitrogenada na cultura da rúcula. O solo e suas múltiplas funções, Natal-RN, 2015.
- BOODLEY, J. Plant nutrition and flower crop quality [dianthus caryophyllus]. **HortScience**, 1975.
- BREUSCH, T. S.; PAGAN, A. R. A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. **Econometrica: Journal of the econometric society**, New York, p. 1287–1294, 1979.
- CABRAL, M. O. et al. Desenvolvimento e crescimento de chicória, em convivência com tiririca. **Anais da 30ª Semana Acadêmica do Curso de Agronomia do CCAE/UFES-SEAGRO**, 2018.
- CALLOU, M. A. M. et al. Impacto da intervenção para o consumo de frutas e hortaliças em escolas públicas no brasil: revisão sistemática com meta-análise e metarregressão. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 37921–37932, 2021.
- CANELLA, D. S. et al. Consumo de hortaliças e sua relação com os alimentos ultraprocessados no brasil. **Revista de Saúde Pública**, SciELO Public Health, v. 52, p. 50, 2018.
- CARVALHO, P. G. de et al. Hortaliças como alimentos funcionais. **Horticultura Brasileira**, SciELO Brasil, v. 24, p. 397–404, 2006.
- CAUSEY, J. L. et al. Effects of dietary inulin on serum lipids, blood glucose and the gastrointestinal environment in hypercholesterolemic men. **Nutrition Research**, Elsevier, v. 20, n. 2, p. 191–201, 2000.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, RF; ALVAREZ-V, VH; BARROS, NF de; FONTES, RLF; CANTARUTTI, RB . . . , 2007.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1998. v. 326.
- DUKE, J. A. **Duke's Handbook of Medicinal Plants of Latin America**. Crc press, 2009. ISBN 1420043161,978-1-4200-4316-7. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=9afe609a9db835fb2348f85d5231e614>>.

DURBIN, J.; WATSON, G. S. Testing for serial correlation in least squares regression. ii. **Biometrika**, London, v. 38, n. 1/2, p. 159–177, 1951.

FAULIN, E. J.; AZEVEDO, P. F. Distribuição de hortaliças na agricultura familiar: Uma análise das transações. *Informações Econômicas*, v. 33, n. 11, 2003.

FAVELL, D. A comparison of the vitamin c content of fresh and frozen vegetables. **Food chemistry**, Elsevier, v. 62, n. 1, p. 59–64, 1998.

FELTRIM, A. L. et al. Crescimento e acúmulo de macronutrientes em chicória coberta e não coberta com polipropileno. **Horticultura Brasileira**, SciELO Brasil, v. 26, n. 1, p. 50–55, 2008.

FELTRIM, A. L. et al. Crescimento, acúmulo de macronutrientes e produção de chicória em função do período de proteção com polipropileno. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2005.

FERNANDES, E. P. et al. Marcha de acúmulo de fósforo em crisântemo (*dendranthema grandiflorum* t., var. salmon reagan) no inverno. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, v. 38, n. 1, p. 27–31, 2008.

FERNANDES, T. J. et al. Compreendendo as diferentes parametrizações do modelo não linear de gompertz. **UNESP**, Presidente Prudente, SP, v. 1, 2015.

FERNANDES, T. J. et al. Parameterization effects in nonlinear models to describe growth curves. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 37, n. 4, p. 397–402, 2015.

FIGUEIREDO, J. K.; MARTINS, E. M.; FERREIRA, W. M. A equação logística aplicada à população brasileira. **Revista de Matemática**, v. 6, n. 01, 2019.

FILGUEIRA, F. A. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3a viçosa: Ufv. **Minas Gerais**, v. 242, 2008.

FILHO, A. B. C.; GRANGEIRO, L. C. Qualidade de frutos de melancia sem sementes em função de fontes e doses de potássio. **Ciência e Agrotecnologia**, SciELO Brasil, v. 28, p. 570–576, 2004.

GALLANT, A. R. **Nonlinear statistical models**. New York: [s.n.], 1987.

HARPER, J. Nitrogen metabolism. **Physiology and determination of crop yield**, Wiley Online Library, p. 285–302, 1994.

JUNIOR, R. A. A. et al. Interferência de doses de nitrogênio na produção de área foliar, biomassa fresca e seca de rúcula. *Horticultura Brasileira*, v. 28, 2010.

KATAYAMA, M. Nutrição e adubação de alface, chicória e almeirão. **Simpósio sobre nutrição e adubação de hortaliças**, Potafos Piracicaba, v. 1, p. 141–148, 1993.

LABORSOLO. **ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO, ANÁLISE DE TECIDO FOLIAR**. 2013. Disponível em: <<https://laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/macronutrientes-conhecendo-o-calcio>>.



- LEONTI, M.; STICHER, O.; HEINRICH, M. Antiquity of medicinal plant usage in two macro-mayan ethnic groups (mexico). *Journal of ethnopharmacology*, v. 88, n. 2–3, p. 119–124, 2003.
- LONG, J. F. J. S. **Regression Models for Categorical Dependent Variables Using Stata**. Stata Press, 2001. ISBN 9781881228622,1881228622. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=71ce8fd5cf86ae5fd1966765e529f8aa>>.
- MAZUCHELI, J.; ACHCAR, J. A. Algumas considerações em regressão não linear. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 24, p. 1761–1770, 2002.
- MAZZINI, A. R. d. A. et al. Análise da curva de crescimento de machos hereford. *Ciência e Agrotecnologia*, SciELO Brasil, v. 27, p. 1105–1112, 2003.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4. ed. [S.l.]: Berne: International Potash Institute, 1987. 687 p.
- MIFLIN, B. J.; LEA, P. J. The pathway of nitrogen assimilation in plants. *Phytochemistry*, Elsevier, v. 15, n. 6, p. 873–885, 1976.
- MISCHAN, M. M.; PINHO, S. d. Modelos não lineares: funções assintóticas de crescimento. **São Paulo: Cultura Acadêmica**, 2014.
- MORETTIN, P.; TOLOI, C. Análise de séries temporais: Blücher. **São Paulo**, 2006.
- NANDAGOPAL, S.; KUMARI, B. R. Phytochemical and antibacterial studies of chicory (cichorium intybus l.)-a multipurpose medicinal plant. *Advances in Biological Research*, v. 1, n. 1-2, p. 17–21, 2007.
- NOUMI, E.; HOUNGUE, F.; LONTSI, D. Traditional medicines in primary health care: plants used for the treatment of hypertension in bafia, cameroon. *Fitoterapia*, v. 70, n. 2, p. 134–139, 1999.
- OLIVEIRA, J. B. de et al. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. [S.l.]: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Campinas, SP (Brasil). Centro . . . , 1999.
- OTTO, R. F.; REGHIN, M. Y.; SÁ, G. D. Utilização do 'não tecido' de polipropileno como proteção da cultura de alface durante o inverno de ponta grossa-pr. *Horticultura Brasileira*, SciELO Brasil, v. 19, p. 49–52, 2001.
- R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2021. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. [S.l.]: International Plant Nutrition Institute, 2011.
- RIBEIRO, T. D. et al. The use of the nonlinear models in the growth of pears of 'shinseiki' cultivar. *Ciência Rural*, SciELO Brasil, v. 48, 2017.
- RUMBALL, W. et al. 'puna ii' forage chicory (cichorium intybus l.). *New Zealand Journal of Agricultural Research*, Taylor & Francis, v. 46, n. 1, p. 53–55, 2003.
- SCHOOFS, J.; LANGHE, E. D. Chicory (cichorium intybus l.). In: **Crops II**. [S.l.]: Springer, 1988. p. 294–321.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, London, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 1965.

SILVA, L. E. S. d.; CLARO, R. M. Tendências temporais do consumo de frutas e hortaliças entre adultos nas capitais brasileiras e distrito federal, 2008-2016. **Cadernos de Saúde Pública**, SciELO Public Health, v. 35, p. e00023618, 2019.

SOARES, A. M. et al. Crescimento do tomateiro cultivado em solo coberto com polipropileno preto. **Revista Ciência Agronômica**, SciELO Brasil, v. 44, p. 790–797, 2013.

SOARES, M. M. et al. Adubação de cobertura com enxofre na cultura da rúcula. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 1, p. 49–52, 2017.

STIPP, S. R.; CASARIN, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações agronômicas**, v. 129, n. 1, p. 14–20, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. fifth. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TAIZ, L. et al. **FISIOLOGIA E DESENVOLVIMENTO VEGETAL**. sixth. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017.

VERMA, R. et al. In vitro antibacterial activity of cichorium intybus against some pathogenic bacteria. **British Journal of Pharmaceutical Research**, SCIENCEDOMAIN International, v. 3, n. 4, p. 767, 2013.

ZAMORA-MARTÍNEZ, M. C.; PASCUAL-POLA, C. N. Medicinal plants used in some rural populations of oaxaca, puebla and veracruz, mexico. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 35, n. 3, p. 229–257, 1992.

ZEVIANI, W. M.; JUNIOR, P. J. R.; BONAT, W. H. Modelos de regressão não linear. **Laboratório de Estatística e Geoinformação. Departamento de Estatística. UFPR**, 2013.

ZHENG, H. et al. Chlorophyllin modulates gut microbiota and inhibits intestinal inflammation to ameliorate hepatic fibrosis in mice. *Frontiers in physiology*, v. 9, 2018.

ZORZI, G. Identificação de enteroparasitos em hortaliças comercializadas no município de nova prata, rs. *Educação em Saúde*, Bento Gonçalves - RS, 2021.